

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNO MELO DE SOUZA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE ÁUDIO PARA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO INGESTIVO EM ANIMAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

BRUNO MELO DE SOUZA

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE ÁUDIO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO EM ANIMAIS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti

PATO BRANCO

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Sistema de Aquisição de Áudio para Avaliação do Comportamento Ingestivo em Animais**”, do(s) aluno(s) “**Bruno Melo de Souza**” foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° 234 de 2019.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti

Prof. Dr. Ricardo Bernardi

Prof. Dr. André Macário Barros

Prof. Me. Daniel Prado de Campos

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

À minha mãe, por ser a melhor parte de mim.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do período de desenvolvimento deste trabalho foram muitas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para sua finalização. Em especial, gostaria de agradecer:

Ao Prof. Dr. Fábio Bertotti, pela orientação científica, que me guiou e aconselhou de forma primorosa durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. André Luís Finkler da Silveira, pela gentileza e conhecimento compartilhados.

Às minhas eternas professoras, Dora Melo e Nazaré Cavalcante, por tudo que me ensinaram e ensinam até hoje.

A Beatriz Melo pela paciência, compaixão e apoio em todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

E por último, mas não menos importante, aos acreanos de Taubaté, nomeadamente: Ana Paula, Arquiney Augusto, André Lucas, Dany Prislely, Gabriel Mota, Laura Nadyne e Nina Veras por todo o resto.

EPÍGRAFE

“Pesquisar é acordar para o mundo.” - Marcelo Lamy

RESUMO

SOUZA, Bruno Melo. Sistema de Aquisição de Áudio para Avaliação do Comportamento Ingestivo em Animais. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Devido a importância dos mamíferos ruminantes no contexto de produção animal e o aumento contínuo nas exigências de qualidade e produtividade de sistemas pecuários, muitas pesquisas vêm sendo realizadas objetivando estudar técnicas de monitoramento voltadas a proporcionar métodos para entender melhor a relação entre esses animais e o seu ambiente. O monitoramento nutricional de ruminantes é uma ramificação desse estudo que visa estabelecer estratégias para determinar características ingestivas de animais de corte. Os métodos tradicionais de monitoramento nutricional são pouco eficientes e exigem disposição de muita mão de obra, neste contexto, trabalhos recentes propõe metodologias eletrônicas e automatizadas para realizar esta análise. Este trabalho utiliza o método acústico como base para o desenvolvimento de um sistema de aquisição e classificação de sinais referentes ao processo de alimentação de ruminantes. O sistema desenvolvido foi utilizado para realizar gravações em uma vaca leiteira da raça Jersey e a partir desse experimento foi possível identificar uma taxa de reconhecimento de 72,45% para eventos de bocado, bocado complexo e mastigação em ambiente de pastejo livre.

Palavras-chave: comportamento ingestivo; ruminantes; monitoramento; nutrição; bioacústica; ingestão; pastejo; sistema embarcado.

ABSTRACT

SOUZA, Bruno Melo. Audio Acquisition System for Ingestive Behavior Analysis in Animals. 2019. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Due to the importance of ruminant mammals in the context of animal production and the continuous increase in the quality and productivity requirements of livestock systems, many researches are done aiming to study monitoring techniques directed to these animals, in order to provide methods to better understand the relationship between them and their environment. The nutritional monitoring of ruminants is a branch of this study that aims to establish strategies to determine ingestive characteristics in these animals. Traditional methods of nutritional monitoring are inefficient and labor-intensive, in this context, recent works proposes electronic and automated methodologies to perform this analysis. This work uses the acoustic method as the basis for the development of a system for acquisition and classification of recurrent signals from the ruminant feeding process. The developed system was used to make sound recordings in a Jersey dairy cow and from this experiment it was identify a recognition rate of 72.45% for bites, chews and chew bites in the free grazing environment.

Keywords: ingestive behavior; ruminants; monitoring; nutrition; bioacoustics; ingestion; animals; grazing; embedded system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da exportação de carne bovina no Brasil.....	11
Figura 2 - Relação entre bem-estar animal e produtividade.....	11
Figura 3 - Novilha com um buçal ajustável, portando um microfone e um gravador digital.....	22
Figura 4 - Exemplo de onda sonora de uma série de bocados e mastigações.....	23
Figura 5 - Análise espectral no domínio da frequência de eventos sonoro.....	24
Figura 6 – Diagrama do modelo oculto de Markov proposto por Milone <i>et al.</i> (2012) para detecção de eventos ingestivos em ruminantes.....	26
Figura 7 – Estágios de uma faixa de áudio sendo processada a partir do algoritmo proposto por Chelotti <i>et al.</i> (2016)	28
Figura 8 – Ilustração de sinais típicos de: mastigação; bocado complexo e bocado....	29
Figura 9 - Diagrama de blocos.....	31
Figura 10 – Trecho do CBRTA após o processamento de uma faixa de áudio.....	35
Figura 11 – Exemplo de um trecho de áudio antes e depois do processo de retificação e envelopamento proposto por Chelotti <i>et al.</i> (2016)	36
Figura 12 – Diagrama do algoritmo desenvolvido neste trabalho.....	38
Figura 13 - Layout frontal da Teensy 3.2.....	40
Figura 14 - Layout frontal da KCF-7113.....	41
Figura 15 - Caixa de alumínio usada para o encapsulamento do sistema.....	42
Figura 16 - Diagrama elétrico do sistema desenvolvido.....	43
Figura 17 - Foto identificando o local de instalação do dispositivo no animal contido em experimento de campo.....	45
Figura 18 - Foto do sistema de gravação de vídeo.....	46
Figura 19 - Foto da estrutura interna do sistema desenvolvido neste trabalho.....	49
Figura 20 - Foto do sistema fixado ao animal contido em experimento de campo.....	50
Figura 21 - Foto do sistema fixado ao animal em pastejo livre.....	50
Figura 22 - Processo de rotulação dos sinais ingestivos do animal 86.....	51
Figura 23 - Ondas sonoras aferidas nos dois ambientes estudados neste trabalho....	52
Figura 24 – Comportamento do sinal envelopado e dos limiares adaptativos para os dados aferidos no ambiente 1.....	53
Figura 25 - Comportamento do sinal envelopado e dos limiares adaptativos para os dados aferidos no ambiente 2.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos métodos de investigação do comportamento ingestivo de ruminantes.....	20
Quadro 2 - Regras heurísticas de classificação de sinais ingestivos de ruminantes propostas por Chelotti <i>et al.</i> (2016)	37
Quadro 3 - Especificações técnicas da Teensy 3.2.....	39
Quadro 4 - Especificações técnicas do sistema desenvolvido neste trabalho.....	48
Quadro 5 - Conjunto de constantes seleccionadas.....	53
Quadro 6 - Resultados dos eventos analisados no ambiente de pastejo livre.....	54

LISTA DE SIGLAS

CBRTA	Algoritmo em Tempo Real de Bocados e Mastigações (do inglês <i>chew bite real time algorithm</i>).
CBIA	Algoritmo Inteligente de Bocados e Mastigações (do inglês <i>chew bite intelligent algorithm</i>).
EA	Intensidade Máxima do Evento (do inglês <i>envelope amplitude</i>)
ED	Duração do Evento (do inglês <i>event duration</i>).
FA	Fator de Multiplicação para Classificação.
FC	Frequência de Corte.
MOMM	Modelos Ocultos de Markov de Millone.
MB	Massa do Bocado.
NC	Número de Mudanças na Orientação do Sinal (do inglês <i>number of changes</i>).
NT	Limiar de Ruído (do inglês <i>noise threshold</i>).
TD	Taxa de Decaimento.
TP	Limiar de Pico Esperado (do inglês <i>peak expectation threshold</i>).
TI	Taxa de Ingestão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.2 Objetivo Geral.....	14
1.3 Objetivos Específicos	14
1.4 Organização do Trabalho	15
2. BIOACÚSTICA E MONITORAMENTO DE RUMINANTES.....	16
2.1 Bioacústica	16
2.2 Monitoramento do Comportamento Ingestivo de Ruminantes	18
2.3 Monitoramento Acústico do Comportamento Ingestivo de Ruminantes.....	21
2.4 Metodologias Automáticas de Classificação de Eventos Ingestivos Baseadas no Método Acústico.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Materiais	31
3.2 Metodologia de Projeto.....	33
3.3 Algoritmo e Método de Classificação	34
3.4 Sistema Computacional.....	39
3.5 Sistema de Alimentação	40
3.6 Encapsulamento	42
3.7 Integração.....	42
3.8 Metodologia de Experimentação	43
4. RESULTADOS	48
4.1 Sistema de Aquisição e Processamento	48
4.2 Resultados Obtidos	51
5. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO	56
5.1 Conclusão.....	56
5.2 Discussão	57
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A.....	63

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é destinado a expor a problemática inicial do trabalho e a importância do estudo realizado nos contextos de: pecuária de precisão, produtividade de sistemas pecuários e qualidade de vida animal. Também é feita uma introdução de alguns termos utilizados no decorrer do texto e de pesquisas que compartilham a mesma área do conhecimento.

1.1 MOTIVAÇÃO

A produção pecuária é o processo de criação de animais objetivando lucro financeiro. Os mamíferos ruminantes são uma parcela importante deste mercado graças ao sistema digestivo desta subordem de mamíferos, que transforma a energia proveniente de alimentos vegetais em produtos de origem animal (e.g. carne bovina, laticínios) de maneira relativamente eficiente (WILLIAMS, *et al.*, 2011).

“A criação de bovinos a pasto é, tradicionalmente, a atividade mais utilizada na ocupação de áreas de fronteira agrícola no Brasil, principalmente por ser a forma menos onerosa e mais eficiente para assegurar a posse de grandes extensões de terra.” (DIAS-FILHO, 2011, p. 9).

A frase de Dias-Filho (2011) é corroborada pelo Relatório do Ministério da Agricultura relativo aos dados de rebanhos no Brasil, em que é possível verificar que, em 2017, foi registrado uma população de 217.749.364 bovinos distribuídos pelo país (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2017). Em relação a área utilizada, o censo agropecuário do IBGE de 2006 mostrou que no Brasil, em 2006, 221.780.495 hectares de terra (cerca de 24% do território nacional) eram ocupadas pela atividade econômica de pecuária e criação de outros animais (Censo Agropecuário 2006 - IBGE, 2006). Esses dois dados evidenciam a importância da pecuária tanto na sociedade brasileira, quanto em sua economia.

Do ponto de vista internacional, de acordo com o Departamento Agrícola dos Estados Unidos, o Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo e em 2018, a exportação cresceu em 18% (Portal Brasil, 2018). Esse crescimento também é refletido pelo relatório de exportação da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), em que foram analisados dados relativos ao primeiro trimestre de 2018 em comparação ao mesmo período de 2017. A Figura 1 expõe os resultados em forma gráfica.

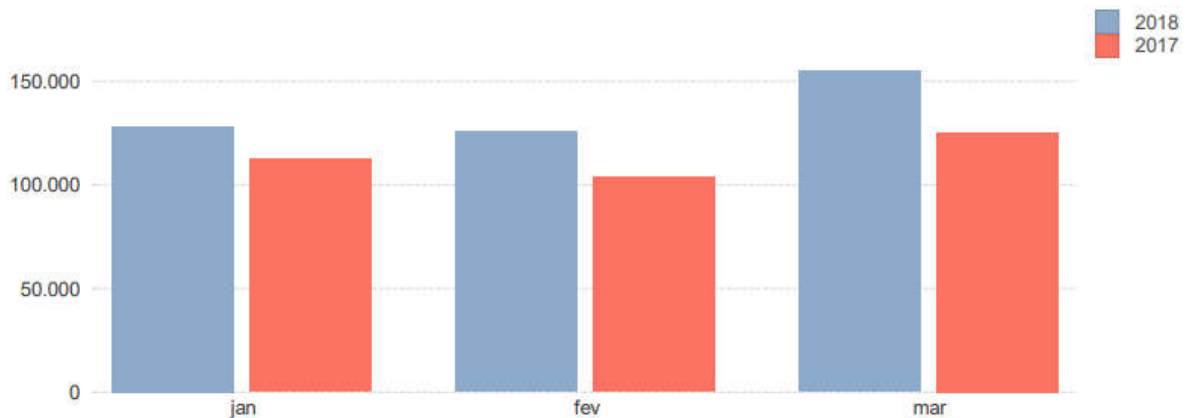


Figura 1: Evolução da exportação de carne bovina no Brasil.

Fonte: ABIEC (2018).

Dada a importância econômica do setor pecuário, o bem-estar dos ruminantes é uma preocupação recorrente de produtores rurais, uma vez que este é diretamente relacionado com a produtividade do rebanho (MCINERNEY, 2004). A Figura 2 mostra qualitativamente a relação entre bem-estar animal e produtividade de ruminantes em rebanho.

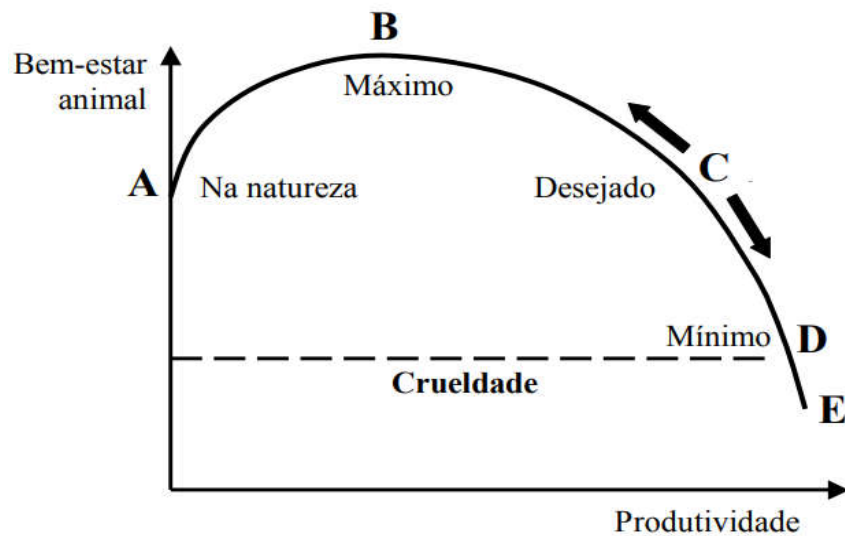


Figura 2: Relação entre bem-estar animal e produtividade.

Fonte: Adaptado de Mcinerney (2004).

Demanda crescente, preocupação com o bem-estar animal e aumento nos níveis de controle de qualidade são as principais motivações para estudos que visam propor técnicas de monitoramento de ruminantes que objetivam, de forma geral, estudar a relação do animal com o ambiente de forma a proporcionar circunstâncias que resultem em maior qualidade de vida e conseqüentemente, maior produtividade em sistemas de produção pecuária (TRINDADE, 2011).

Visto que os métodos tradicionais de monitoramento (*e.g.* método de avaliação visual) são trabalhosos e caros do ponto de vista de disposição de mão de obra, muitos esforços estão sendo destinados ao desenvolvimento de técnicas de monitoramento automatizadas. Uma área específica no escopo de monitoramento de ruminantes é focada em estudar o comportamento ingestivo desses animais (LACA; UNGAR; DEMMENT, 1994).

Entender a relação do animal com sua alimentação, a partir do estudo de seu comportamento ingestivo é de suma importância para avaliar tanto sua condição de saúde, quanto para propor técnicas de manejo de pasto (UNGAR, 1996). Um ramo desse estudo utiliza os sons de pastejo para estimar a quantidade de matéria ingerida por ruminantes. Esse ramo se baseia na constatação que os sinais sonoros emitidos por ruminantes no processo de ingestão de alimentos, carregam informações a respeito do seu processo alimentar (LACA; UNGAR; DEMMENT, 1994).

O método acústico de monitoramento de ruminantes é uma tecnologia em desenvolvimento que apresenta características muito interessantes para este escopo, dentre elas é possível nomear as principais: baixo nível de invasão para com os animais em estudo, possibilidade de automatização do processo e baixo custo de implementação.

O recente avanço dos algoritmos de identificação e classificação de eventos sonoros apresenta um novo paradigma para o método acústico de monitorização de ruminantes. Esses novos algoritmos são mais eficientes, o que resulta em uma diminuição das necessidades computacionais envolvidas no processamento dos dados e mais precisos na identificação e classificação de eventos ingestivos (DENIZ, *et al.*, 2017). A construção de sistemas de pequeno porte de aquisição e classificação de dados facilita à validação dos algoritmos e evidencia características práticas envolvidas no processo de classificação de sinais acústicos.

Em Nestor *et al.* (2017), foi desenvolvido um sistema embarcado de aquisição e classificação de eventos ingestivos de ruminantes a partir do método acústico. Seguindo essa linha, este trabalho teve como objetivo avaliar os algoritmos de classificação disponíveis na bibliografia com intuito de desenvolver e testar um sistema portátil de monitoramento nutricional de ruminantes utilizando como base o método acústico.

Visto que trabalhos precedentes a este validaram suas metodologias de identificação e classificação de sinais ingestivos em ambientes de pastejo livre (eg. Chelotti *et al.* (2016), Milone *et al.* (2012)), este trabalho contribui para a área de conhecimento ao testar a hipótese que o método acústico poderia obter uma alta taxa de reconhecimento e classificação de eventos em ambientes com altos níveis de ruídos, sendo ruídos, nesse contexto, qualquer som captado pelo sistema de aquisição que não venha do animal em estudo. Além disso, neste trabalho também é testado a viabilidade da implementação do algoritmo proposto em Chelotti *et al.* (2016) na placa de desenvolvimento Teensy 3.2, um sistema com baixa densidade computacional.

1.2 OBJETIVO GERAL

Projetar, implementar e validar um sistema eletrônico, composto dos subsistemas de aquisição, processamento e armazenamento de dados, que tem como propósito o monitoramento acústico do comportamento ingestivo de curto prazo de ruminantes a partir da detecção dos principais eventos desse processo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral do presente trabalho é atingido a partir dos seguintes objetivos específicos:

- Estudar parâmetros de interesse do comportamento ingestivo de animais ruminantes.
- Investigar os principais algoritmos de detecção das etapas do processo alimentar de ruminantes a partir de sinais acústicos disponíveis na bibliografia.
- Realizar uma análise comparativa entre os principais algoritmos de identificação de padrões acústicos disponíveis e selecionar um modelo para implementação.
- Projetar um sistema de supervisão de comportamento ingestivo de ruminantes baseado no método acústico de aquisição de dados, tendo como enfoque a detecção dos três principais eventos do processo de alimentação do animal, sendo eles: apreensão, mastigação e bocado complexo.
- Simular e implementar o sistema projetado em ambiente real.
- Comparar as taxas de reconhecimento obtidas pelo sistema desenvolvido com o estado da arte.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O primeiro capítulo expõe as motivações do estudo, introduz alguns conceitos do método acústico e do monitoramento de ruminantes, trata da importância da produção animal na economia brasileira, estabelece os objetivos e a organização do trabalho. Continuando este estudo, no segundo capítulo uma revisão bibliográfica do método acústico de monitoramento animal, com foco em sua aplicação no monitoramento do comportamento ingestivo de mamíferos ruminantes é mostrada. Em seguida algumas metodologias de classificação de sinais ingestivos pelo método acústico são descritas e comparadas.

Na terceira sessão do trabalho descreve-se o processo de projeto e implementação do algoritmo e da estrutura física do sistema de monitoramento desenvolvido nesta pesquisa, além de expor a metodologia adotada na experimentação realizada. O quarto capítulo relata os resultados do experimento realizado com objetivo de determinar as constantes do algoritmo de identificação e classificação de sinais ingestivos selecionado para instalação no *software* do sistema desenvolvido nesse trabalho. Alguns comentários são tecidos em relação aos sinais acústicos observados nos dois ambientes estudados. Finalizando o trabalho, o quinto capítulo traz os objetivos alcançados, algumas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 BIOACÚSTICA E MONITORAMENTO DE RUMINANTES

Na última década diversas pesquisas têm sido realizadas objetivando estudar a viabilidade e as limitações da aplicação da bioacústica no monitoramento de animais. Nesta seção, o leitor é apresentado à alguns conceitos introdutórios do cunhado método acústico e sua aplicação na zootecnia, além de outras técnicas de monitoramento animal. É dada maior importância a ramificação deste estudo que tenta estimar variáveis referentes ao processo de alimentação de ruminantes, uma vez que este tema é foco deste trabalho. São expostos ainda, pesquisas recentes de forma a fornecer um contexto do estado da arte do método acústico de monitoramento nutricional de ruminantes.

2.1 BIOACÚSTICA

Sinais acústicos emitidos por ruminantes em pastejo são ricos em informações e podem ser obtidos interferindo minimamente com os animais (LACA; WALLISDEVRIES, 2000). A bioacústica, no contexto deste trabalho, refere-se ao estudo de sons emitidos por animais e é usualmente definida como a combinação de duas outras áreas do conhecimento: a acústica e a biologia (FONSECA, 2014).

Um som, em geral, é capturado a partir do processo de medição e armazenamento digital da variação de pressão nos arredores do sistema de aquisição. A bioacústica utiliza as características desse sinal para classificar e quantificar processos sonoros (FONSECA, 2014). A bibliografia mostra que as principais métricas avaliadas na faixa sonora são: amplitude, frequência e envelope (forma) (Chelotti et al. (2018), Milone et al. (2012)). A partir da análise dessas, é possível abstrair diversas características comportamentais dos indivíduos estudados.

O estudo da técnica bioacústica teve início no fim da segunda guerra mundial em decorrência dos avanços tecnológicos deste período e tem se tornado cada vez mais importante no monitoramento de animais domésticos e selvagens e na caracterização de espécies (VIELLARD, 1993).

Além das aplicações na ecologia, que variam da supervisão de vida marinha à detecção de espécies raras ou em extinção, na zootecnia, o registo acústico é utilizado com objetivo de monitorar animais (FONSECA, 2014) e a partir disso desenvolver estratégias para melhorar a qualidade de vida dos indivíduos em estudo. Além de detectar doenças e sugerir metodologias de aumento de produtividade para produção pecuária.

O método acústico de monitoramento de animais apresenta vantagens fundamentais quando comparado com outras metodologias de mesmo objetivo, dentre elas estão: o baixo grau de invasividade animal e os baixos custos de implementação dos sistemas de aquisição e classificação (TRINDADE, *et al.*, 2011). No entanto, existem questões que devem ser levadas em consideração ao implementar um sistema de monitoramento por método acústico. Dependendo da diferença de intensidade entre o ruído do ambiente e a vocalização do animal, se torna necessário adotar estratégias de eliminação de ruído (*eg. filtros digitais ou analógicos*) e como o ruído do ambiente é imprevisível em muitos casos, esse trabalho pode se tornar exaustivo.

Um exemplo de aplicação da bioacústica para aumento da produtividade de animais é o trabalho de McCowen (2001), que realizou um experimento visando testar a hipótese de que a produção de leite de vacas leiteiras poderia ser aumentada quando esses animais eram submetidos a sons vocais de bezerros. Como resultado, foi identificado um aumento de até 2% na produção de leite por sessão de lactação quando os animais eram expostos a esses sons. Esse trabalho, como outros que serão descritos a seguir, demonstram o potencial da bioacústica nos estudos que visam entender a relação entre os animais usados na produção pecuária e o seu meio, e como essa relação pode afetar na produtividade dos sistemas pecuários de produção.

A presente pesquisa terá como foco o ramo da bioacústica que objetiva desenvolver técnicas para monitorar o comportamento ingestivo de ruminantes buscando abstrair informações relacionadas à sua nutrição e relação com a forragem.

2.2 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO DE RUMINANTES

Dada a importância comercial dos mamíferos ruminantes no contexto da pecuária de corte, pesquisadores de todo mundo buscam metodologias visando aprimorar a produtividade de sistemas de produção animal. Uma ramificação dessa área é a pesquisa em monitoramento nutricional de ruminantes. Esse estudo tem como objetivo detectar eventos característicos do processo alimentar de ruminantes de forma automática e prática, visando estimar, principalmente, duas variáveis relacionadas ao comportamento ingestivo do animal observado: a massa do bocado (MB) e a taxa de ingestão (TI) (FONSECA, 2014). Segundo Ungar (1996): *“A habilidade de medir a massa do bocado e a taxa de ingestão de ruminantes de pastos de forma precisa e fácil, é chave para importantes decisões de gestão em sistemas de pastejo”*.

A MB se refere à quantidade de matéria seca que o animal ingere em cada bocado, segundo Faverdin *et al.* (1995):

“os principais fatores que influenciam o consumo de matéria seca em ruminantes são: fatores do animal (raça, sexo, genótipo, peso vivo, crescimento, idade, estágio de lactação, prenhez, alimentação prévia e condição corporal); fatores do alimento; fatores de manejo e ambiente” (Faverdin et al., 1995, p. 15).

A frase exposta acima mostra a dificuldade de estimar a MB de forma automática e generalizada.

A TI por sua vez, é a velocidade em que o animal ingere a matéria seca, sendo fundamental para determinar o tempo de pastejo. Em situações de baixa TI, os ruminantes aumentam o tempo de pastejo, buscando manter o consumo diário de forragens (FONSECA, 2014).

O processo de ingestão de alimentos de ruminantes é subdividido em três períodos discretos de atividade, conhecidos como: ingestão, ruminação e descanso ou ócio (PENNING; ROOK; ORR, 1991). O período de ingestão é, muitas vezes, realizado a partir do processo de pastejo, quando o animal utiliza seu corpo e sentidos para se deslocar em busca de potenciais bocados, prende o alimento entre os dentes, corta-o com movimentos da cabeça (caracterizando um bocado completo) e mastiga-

o, formando um bolo alimentar, que em seguida será deglutido (EDWARDS, *et al.*, 1995).

Embora as técnicas de monitoramento animal ainda se encontram em desenvolvimento, na literatura é possível encontrar diversos métodos para monitorar de forma quantitativa, o comportamento nutricional de ruminantes no processo de ingestão. Segundo Campos (2016) “*Em geral, os métodos são danosos ao animal ou são trabalhosos*”. Os métodos são divididos em métodos diretos, não diretos e indiretos automáticos. Os métodos diretos têm como característica principal que a variável medida estima diretamente o consumo do animal, um exemplo de aplicação do método direto é a medida por diferença de peso, em que o animal é pesado antes e depois da refeição, de forma a se estimar a quantidade de matéria que esse ingeriu no seu processo alimentar, conforme é citado em Campos (2016), baseando-se no trabalho de Berchielli (2006).

Os métodos indiretos partem da observação do animal ou de seus dejetos sólidos, e a partir desses, estima-se o consumo do indivíduo por extrapolação. A avaliação visual é um exemplo de método indireto de estimacão nutricional, nele observadores treinados observam o animal em seu processo de alimentação, contando o número de bocados e o tempo de pastejo, estimando assim, a condição nutricional do ruminante, conforme Campos *et al.* (2016), como citado em (SILVA, *et al.*, 2009).

Os métodos diretos e indiretos são trabalhosos e caros no ponto de vista de disposiçãõ de mão de obra, o que torna inviável a utilização destes para o monitoramento de muitos animais concomitantemente. Os métodos indiretos automáticos, ou simplesmente automáticos, buscam diminuir esse esforço trazendo metodologias automatizadas, capazes de identificar eventos do processo de ingestão dos ruminantes, calcular variáveis como o tempo de pastejo e até mesmo a quantidade de matéria ingerida, em alguns trabalhos recentes.

Existe ainda uma subdivisãõ entre tipos de monitoramento, a observaçãõ em curto e longo prazo. Enquanto a supervisãõ em curto prazo tem como objetivo analisar o comportamento do ruminante no período de alimentação utilizando estratégias para identificar os eventos de ingestãõ (*eg. bocado e mastigaçãõ*), o monitoramento em longo prazo é interessado em calcular variáveis de tempo, como: tempo de pastejo, tempo de ruminaçãõ e tempo de ócio. Alguns métodos podem ser utilizados para os dois tipos de monitoramento, como o método acústico.

Mesmo com os recentes avanços nas tecnologias de monitoramento de ruminantes, ainda não existe um método definitivo para estimar o consumo de animais em pastejo (CAMPOS, 2016). Um dos motivos disso é a relação de dificuldade de implementação e exatidão dos métodos, enquanto uns apresentam propostas proibitivas de implementação, outros ainda mostram níveis de precisão relativamente baixos. No Quadro 1, mostrado abaixo, está contido um resumo das metodologias diretas, indiretas e automáticas disponíveis na bibliografia, além de uma análise de suas principais vantagens e desvantagens.

Método	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Diferença de peso animal	O animal é pesado antes e depois do pastejo. A diferença é proporcional ao consumo.	O método é simples e fornece o consumo diretamente.	Aplicar as medidas em vários animais ou várias vezes ao dia devem consumir muito tempo.
Diferença de massa de forragem	Diferença da massa de pastagem antes e depois do pastejo é proporcional ao consumo.	O método é simples e fornece o consumo diretamente.	As medidas são imprecisas.
Avaliação visual do comportamento animal	Um observador acompanha o animal registrando seu comportamento.	O método é simples e fornece o tempo de pastejo e número de bocados diretamente.	É necessário que um observador treinado acompanhe integralmente o animal.
Coleta de alimentos usando fistula esofágica	Não é necessário um observador e o material ingerido pode ser coletado para posterior análise.	O sistema é invasivo e apenas fornece consumo de curto prazo.	O sistema é invasivo e fornece apenas o consumo de curto prazo.
Indicadores de consumo e digestibilidade	Por meio da coleta e análise de material fecal estima-se consumo e digestibilidade.	Método difundido. Fornece o consumo e digestibilidade sem a necessidade de um observador.	É necessário realizar a coleta e análise do material fecal.
Transdutores de pressão	Um balão de borracha no cabresto acoplado a um sensor de pressão registram movimentos de mastigação.	Medição automática da ocorrência da mastigação.	As medidas não fornecem as grandezas diretamente.
Chave eletrônica	Dois contatos posicionados no cabresto se tocam a cada mastigada, gerando um pulso eletrônico.	Medição automática da ocorrência da mastigação.	As medidas não fornecem as grandezas diretamente.
Sensor de deformação	Um sensor de deformação posicionado na mandíbula do animal registra os movimentos mastigatórios.	Medição automática da ocorrência da mastigação.	As medidas não fornecem as grandezas diretamente.
Método acústico	Um microfone grava os sons do pastejo. Os dados são relacionados com o comportamento ingestivo.	Medição automática da ocorrência da mastigação e bocados e estimativa de consumo.	O sistema é afetado por ruídos sonoros externos.
Acelerômetro	Um sensor de aceleração registra movimentos da cabeça do ruminante	Medição automática da ocorrência da mastigação.	O sistema apresenta erros dependendo da altura do pasto.
Redes de Bragg em fibra óptica	Um sensor óptico inserido na mandíbula do animal registra a pressão óssea de cada mastigada.	Contagem automática de mastigação e classificação de padrões. Imune a ruído eletromagnético.	O sensor é invasivo.
Eletromiografia do Músculo Masseter	Um eletrodo capta a atividade elétrica do músculo masseter durante a mastigação.	Medição automática da ocorrência da mastigação. Possibilidade de estimar consumo e tipo de pasto.	Os dados não são processados de maneira automática. Fixação dos eletrodos adesivos necessita preparo da pele do animal.

Quadro 1: Resumo dos métodos de investigação do comportamento ingestivo de ruminantes.

Fonte: Campos (2016).

O método acústico é um exemplo de método automático que pode ser utilizado para monitoramentos de longo e curto prazo. Ele é baseado em um sistema de aquisição de áudio, posicionado na cabeça do animal, que captura os sons emitidos pelo indivíduo observado. Posteriormente, esses sons, agora no formato de dados digitais, são processados de forma a recuperar informações a respeito do processo de ingestão do animal. O seu baixo custo de implementação e o fato de não ser invasivo são características muito desejáveis neste contexto (LACA; WALLISDEVRIES, 2000). O capítulo a seguir traz uma revisão bibliográfica do método, e em seguida é exposta uma análise de alguns algoritmos do estado da arte.

2.3 MONITORAMENTO ACÚSTICO DO COMPORTAMENTO INGESTIVO DE RUMINANTES

Em análise ao quadro e os estudos apresentados, observa-se que os métodos de avaliação de comportamento nutricional de ruminantes não automáticos se mostraram trabalhosos e inviáveis para aplicações em muitos animais de forma simultânea. Uma vez que a obtenção de dados referentes a ingestão desses animais é de suma importância para o desenvolvimento de técnicas de manejo de pasto eficientes que podem levar a um aumento de produtividade em sistemas pecuários (LACA; WALLISDEVRIES, 2000), diversos métodos automáticos foram desenvolvidos para suprir esta demanda. Esse segmento do trabalho será destinado a exposição dos avanços científicos de uma dessas metodologias, o método acústico.

Do ponto de vista de implementação, o método acústico utiliza apenas um microfone e um gravador digital para realizar a aquisição e o armazenamento dos dados, respectivamente (TRINDADE, 2011), conforme ilustra a Figura 3. Essa estrutura simplificada implica em baixo custo de implementação e baixo grau de invasividade com o animal em comparação outros métodos de mesmo objetivo. Além disso, o método acústico é um dos poucos métodos de avaliação nutricional de ruminantes capaz de identificar eventos de bocado complexo (LACA; WALLISDEVRIES, 2000), que serão melhor descritos no decorrer deste trabalho.

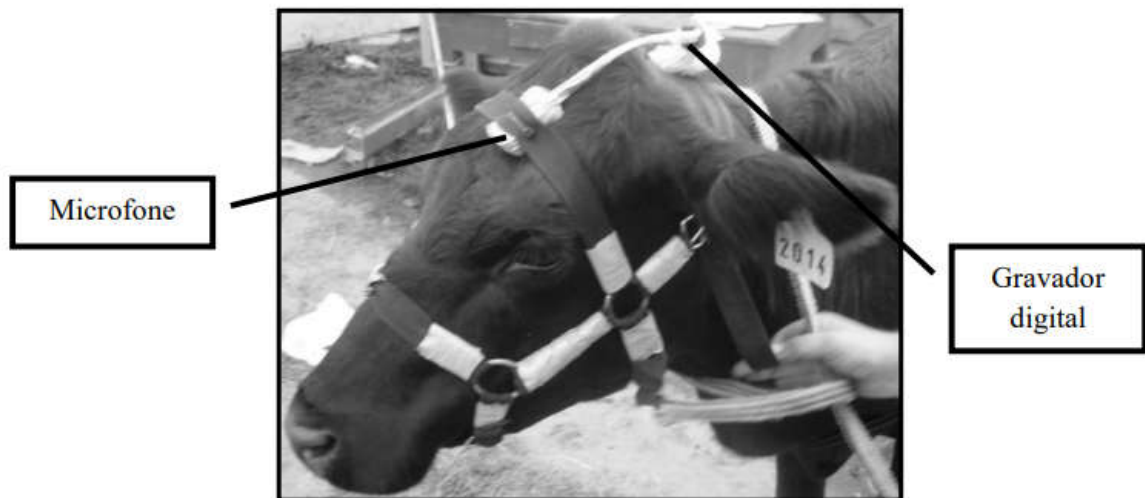


Figura 3. Novilha com um buçal ajustável, portando um microfone e um gravador digital.

Fonte: Trindade (2011).

Como comentado na sessão anterior, uma das desvantagens do método acústico em relação aos demais são os sons do ambiente, ou seja, qualquer som captado pelo sistema de aquisição que não seja emitido pelo animal em observação. Mesmo que seja possível a utilização de filtros para eliminação desses sons na maioria dos casos, dependendo do ambiente, pode haver variações nos níveis de ruídos, e essas variações devem ser previstas e tratadas de forma a obter dados precisos no processo de aquisição (FONSECA, 2014).

Embora a bioacústica como um todo já seja utilizada há algum tempo para realizar o monitoramento de animais de forma geral (VIELLARD, 1993), um dos primeiros trabalhos que explicitam seu uso no contexto zootécnico é o de Laca *et al.* (1994). Nessa pesquisa foi constatado que eventos de bocado e mastigação eram mais fáceis de serem observados com base nos sons emitidos pelo animal do que a partir da avaliação visual, devido à existência de movimentos mandibulares complexos, onde ocorrem bocados e mastigações de forma simultânea, conhecidos como eventos de *chew-bite* ou bocados complexos.

Em trabalho posterior, Laca & WallisDeVries (2000) testaram duas hipóteses: (1) Eventos de mastigações e bocados podem ser discriminados de forma precisa apenas em função de suas características acústicas e (2) MB e quantidade de matéria ingerida podem ser determinadas com base na energia e intensidade do sinal de áudio emitido pelo animal no processo de ingestão. Utilizando um gravador

comercial, configurado para gravar em uma taxa de amostragem de 22,1 kHz, o *software* Canary versão 1.2 e o método de avaliação visual como referência, os autores separaram manualmente os eventos de bocado e mastigação (vide Figura 4) e chegaram as seguintes conclusões: (1) Ao realizar uma análise espectral no domínio da frequência dos eventos já separados (vide Figura 5), os sinais referentes aos bocados apresentaram intensidades maiores nas frequências entre 3 kHz e 8 kHz. Utilizando essa métrica, foi possível classificar os eventos de mastigação e bocado com uma precisão de 93%; (2) Os sinais observados em eventos de mastigação carregam mais informações em relação a quantidade de matéria ingerida do que os sinais que representam bocado; (3) A análise dos sons emitidos por animais de pastejo tem potencial para superar diversos problemas associados a estimação nutricional desses.

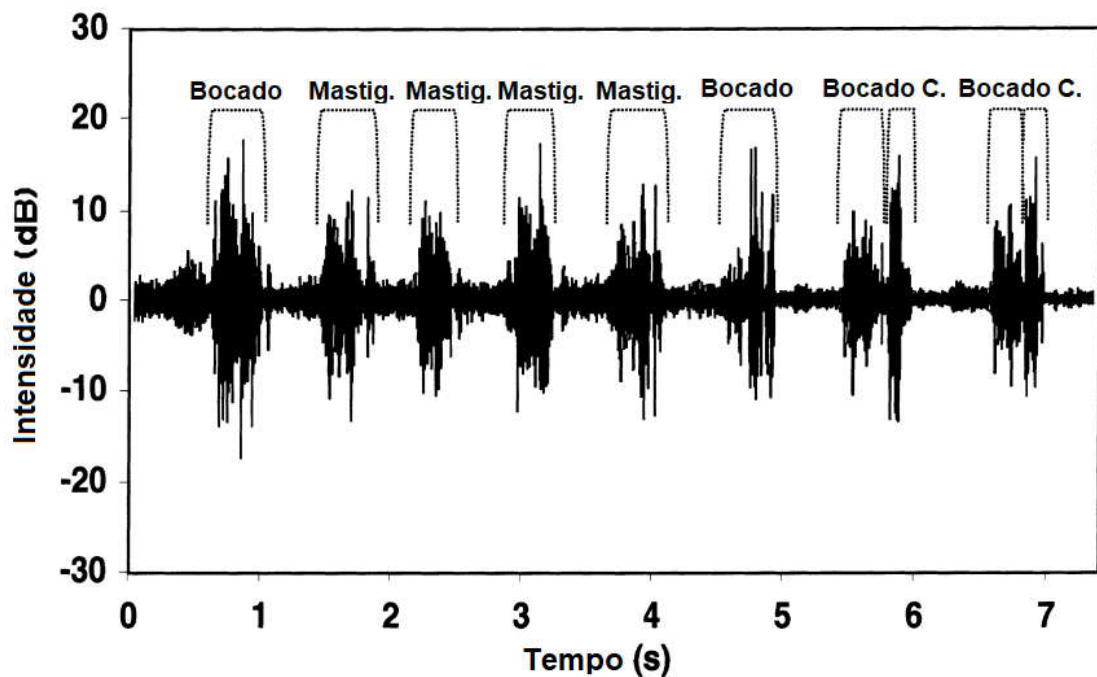


Figura 4. Exemplo de onda sonora de uma série de bocados, mastigações e bocados complexos. Fonte: Adaptado de Laca & WallisDeVries (2000).

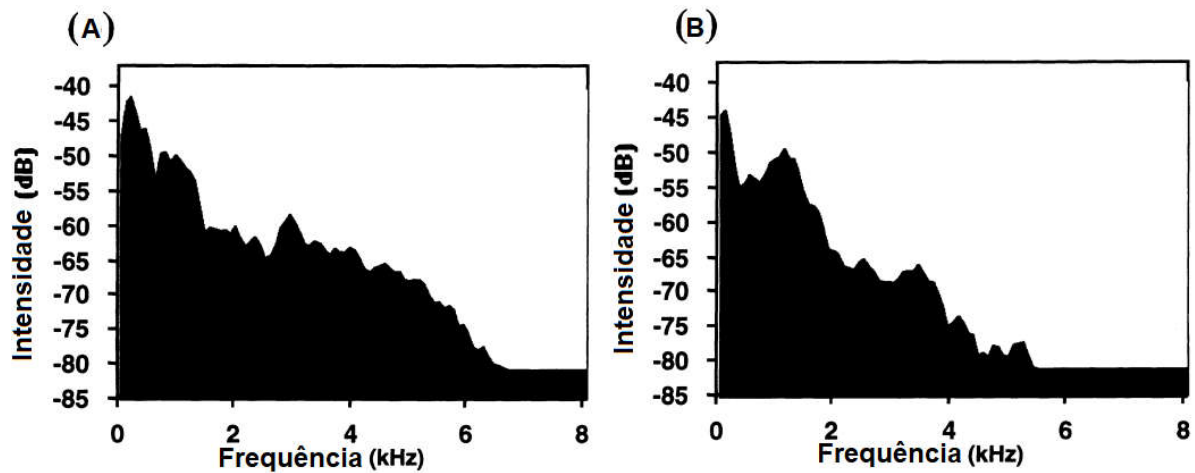


Figura 5. Análise espectral no domínio da frequência de um evento sonoro de (A) bocado e (B) mastigação.

Fonte: Adaptado de Laca & WallisDeVries (2000).

Embora o trabalho de Laca & WallisDeVries (2000) não tenha desenvolvido uma sistemática automatizada para analisar os sinais acústicos de pastejo, seu estudo mostrou o potencial do método acústico no âmbito do monitoramento nutricional de ruminantes a partir da noção que os eventos do processo de alimentação de ruminantes eram distinguíveis por meio de seus respectivos sinais sonoros. A seguir serão descritas algumas metodologias automatizadas para identificar e classificar eventos ingestivos de ruminantes pelo método acústico.

2.4 METODOLOGIAS AUTOMÁTICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE EVENTOS INGESTIVOS BASEADAS NO MÉTODO ACÚSTICO

A partir do trabalho de Laca & WallisDeVries (2000), algumas metodologias foram propostas para segmentar, identificar e classificar de forma automática os sons produzidos por ruminantes em seu processo alimentar.

Uma vez que este trabalho visa implementar um algoritmo automático de processamento de sinais acústicos, com objetivo de identificar e classificar eventos ingestivos de curto prazo, nomeadamente: bocado, mastigação e bocado complexo, aqui serão expostas somente as metodologias de processamento de dados, disponíveis na bibliografia estudada, que compartilham do mesmo objetivo.

Os trabalhos descritos a seguir, em geral utilizam a taxa de reconhecimento (C%) como métrica para estimar a qualidade do modelo proposto. Sua composição é dada por Chelotti *et al.* (2016) como:

$$C\% = \frac{T-D-S}{T} , \quad (1)$$

Em que T é o número total de eventos identificados pelo método de avaliação visual; D é o número de eventos identificados de forma errônea pelo método e S é o número de eventos classificados de forma errônea pelo método.

Milone *et al.* (2012) propôs uma metodologia baseada na técnica estatística de modelos ocultos de Markov para identificar e classificar os eventos sonoros referentes ao processo ingestivo de ruminantes. O modelo oculto de Markov implementado por Milone (MOMM) foi validado a partir de um experimento de campo, em que duas vacas leiteiras *Holstein*, com idades entre 4 a 6 anos, foram observadas por especialistas enquanto comiam quatro tipos diferentes de forragem: *Medicago sativa* e *Festuca* curtas e baixas, ao mesmo tempo que seus sons de pastejo eram gravados a partir de um sistema de aquisição de áudio comercial, com resolução de 16 bits e frequência de amostragem de 44,1 kHz.

O MOMM propõe que o sinal de áudio seja segmentado em seguimentos de tamanho fixos, que serão analisados individualmente. Após a segmentação, o som passa por um processo de extração de características, onde os dados provenientes do animal são convertidos em um espectro de frequência. Esse espectro é então usado como entrada no modelo estatístico proposto pelo autor, onde cada estado

representa o tipo de evento detectado (MILONE, *et al.*, 2012). O diagrama proposto pelo MMOM é mostrado na Figura 6.

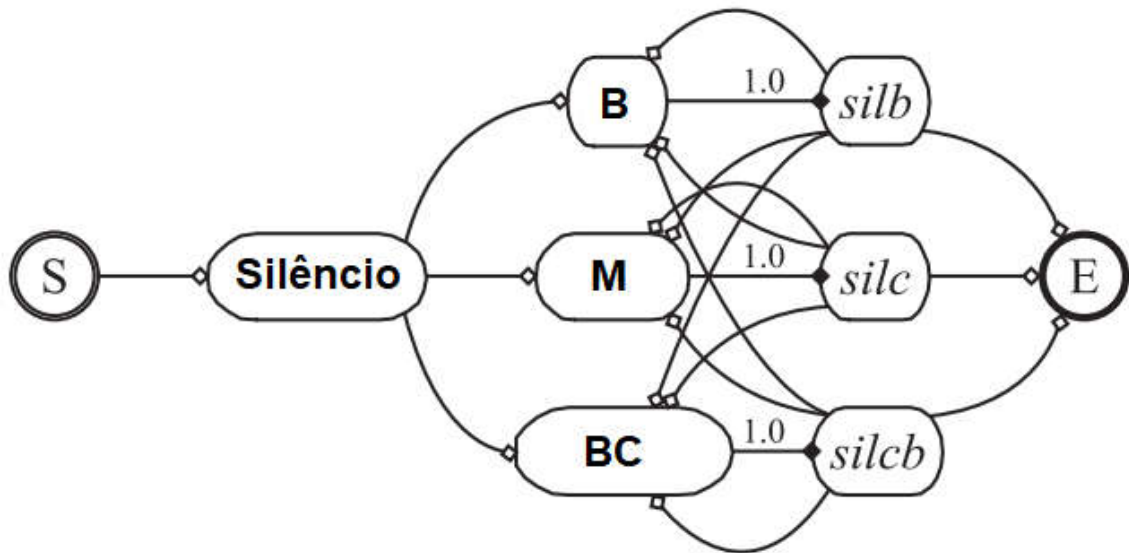


Figura 6. Diagrama do modelo oculto de Markov proposto por Milone *et al.* (2012) para detecção de eventos ingestivos em ruminantes, onde os estados *silb*, *silc* e *silcb*, representam possíveis estágios de silêncio após um evento de bocado (B), mastigação (M) ou bocado complexo (BC), respectivamente.

Fonte: Milone *et al.* (2012).

Utilizando o método de validação mencionado, Milone *et al.* (2012) obteve uma taxa de reconhecimento de 85%, quando analisando pastagens de Festuca alta, embora tenha sido observado uma taxa menor, 65%, quando o processo foi realizado nos áudios referentes ao pastejo de alfafa curta. (MILONE, *et al.*, 2012).

A metodologia desenvolvida por Milone *et al.* (2012) é automática e apresentou bons resultados em comparação com o estado da arte do período, porém, seu modelo é de difícil implementação, uma vez que os parâmetros de um modelo oculto de Markov são definidos por meio de um exaustivo processo de treinamento (MILONE, *et al.*, 2012), o que intrinsecamente requisita uma grande quantidade de dados. Além disso, a metodologia foi elaborada sem preocupação com o custo computacional envolvido no processo de classificação e, portanto, não há evidências que este procedimento funcione em um sistema de baixa disponibilidade computacional.

Como alternativa ao MOMM, em Chelotti *et al.* (2016) é proposta uma sistemática simplificada para identificar e classificar os eventos do processo ingestivo de ruminantes pelo método acústico. Uma das características da metodologia proposta é diminuir o consumo computacional analisando os sinais sonoros no domínio do tempo, evitando o domínio da frequência, como no trabalho exposto anteriormente. O cunhado *Chew-Bite Real-Time Algorithm* (CBRTA) é um algoritmo em tempo real baseado em cinco etapas: (1) Computação de envelope; (2) Segmentação; (3) Detecção de pico; (4) Computação de propriedades e (5) classificação de eventos (CHELOTTI, *et al.*, 2016).

A técnica de envelopamento de sinais é amplamente utilizada quando o sinal que se deseja classificar possui uma forma característica (CHELOTTI, *et al.*, 2016). Então, na etapa de computação de envelope, o algoritmo retifica o sinal de som, e filtra-o, de forma a obter apenas o contorno atenuado do sinal original (vide Figura 7b). Após a etapa anterior, o sinal é segmentado em blocos de tempo fixo. A duração de cada segmento, depende da disponibilidade de memória dinâmica do sistema de processamento, embora o autor sugira uma duração mínima de 2 (dois) segundos para cada segmentação.

De forma sequencial e discreta, cada segmento passa por uma verificação de pico em busca de possíveis eventos. Os critérios usados para a detecção de um possível evento são: (1) Amplitude do sinal maior que o valor do limiar adaptativo, naquele momento (linha vermelha, na Figura 7c) e (2) Amplitude do sinal maior que o pico esperado (linha azul, na Figura 7c), naquele momento. O pico esperado é calculado como uma média da máxima amplitude registrada nos 5 últimos eventos e o limiar adaptativo varia conforme um conjunto de regras explícitas em Chelotti *et al* (2016).

Quando um possível evento é detectado, o algoritmo computa as seguintes variáveis numa janela de tempo igual a duração de um evento de bocado complexo típico (aproximadamente 0.4 segundos): (1) Máxima Amplitude (vide Figura 7e); (2) Duração (vide Figura 7f); e (3) Número de mudanças na orientação do sinal envelopado (vide Figura 7d) (CHELOTTI, *et al.*, 2016).

Com esses três atributos calculados, o algoritmo utiliza um conjunto de regras, estabelecidas de forma heurística por Chelotti *et. al* (2016), baseando-se nas características típicas dos eventos nutricionais (vide Figura 8), para classificar o

possível evento como um dos seguintes: ruído, mastigação, bocado ou bocado complexo (CHELOTTI, *et al.*, 2016).

Para validar seu sistema, Chelotti *et al.* (2016) utilizou o mesmo banco de dados utilizado por Milone *et al.* (2012), além de um segundo conjunto, aferido de forma similar.

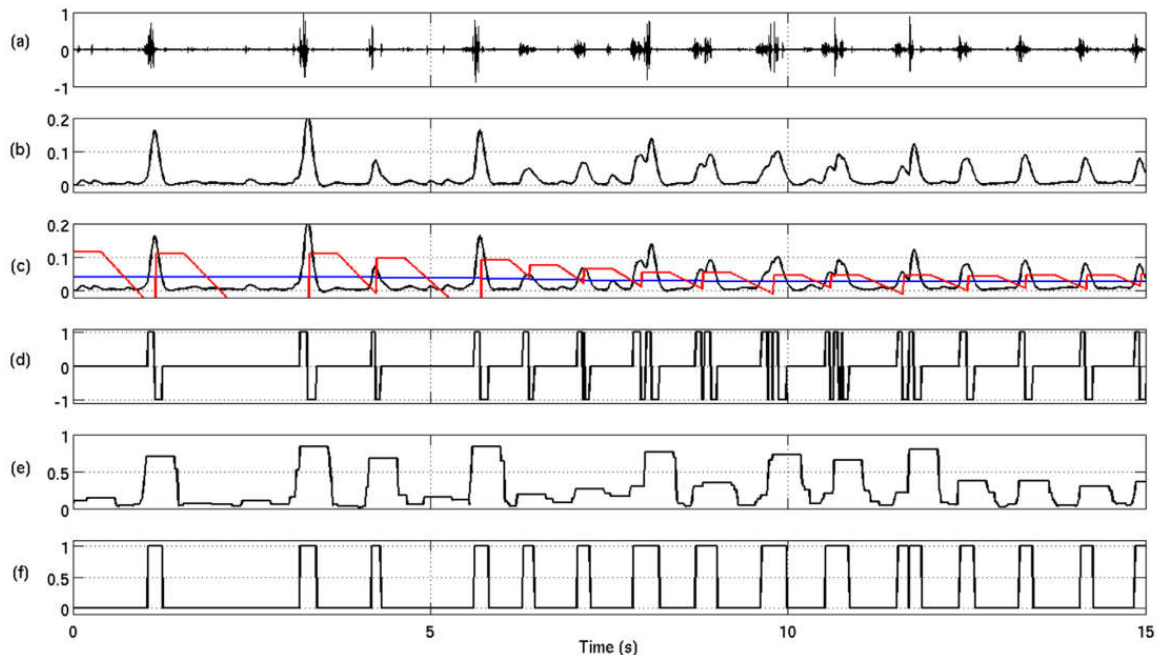


Figura 7. Estágios de uma faixa de áudio sendo processada a partir do algoritmo proposto por Chelotti *et al.* (2016), em que é mostrado: (a) o sinal original, (b) o sinal envelopado, (c) o limiar adaptativo e o pico esperado, (d) o número de mudanças na derivada em uma janela de tempo do evento, (e) a amplitude máxima do sinal em cada intervalo e (f) o tempo de duração de cada evento.

Fonte: Chelotti *et al.* (2016).

Dentre todos os tipos de forragem, Chelotti *et al.* (2016) identificou até 84% de taxa de reconhecimento na classificação dos eventos utilizando o segundo banco de dados e 79%, quando o primeiro foi usado (CHELOTTI, *et al.*, 2016). Embora a taxa de classificação do CBRTA tenha se mostrado menor em comparação ao MOMM, o algoritmo proposto apresenta menor consumo computacional e maior facilidade de implementação quando comparado ao MOMM. Enquanto o MOMM necessita de treinamento para a determinação de seus parâmetros, o limiar adaptativo e as regras heurísticas de classificação utilizadas como base para o CBRTA diminuem a necessidade de calibração, embora ainda necessite de ajuste em seus parâmetros.

A terceira metodologia que será descrita aqui foi apresentada em Chelotti *et al.* (2018). No trabalho, os autores propuseram um método de classificação baseado em reconhecimento de padrões (CBIA), com preocupações em questões práticas de implementação (*eg.* ruídos e custo computacional).

O algoritmo é dividido em cinco etapas: 1 - Etapa de condicionamento de sinal; 2 - Etapa de pré-processamento (*subamostragem*); 3 - Etapa de computação de características; 4 - Etapa de identificação; e 5 – Etapa de classificação, baseada em modelo e técnicas de aprendizado de máquina.

Chelotti *et al.* (2018) realizou testes com três técnicas de filtragem de sinal, nomeadamente: Filtro Passa-Altas (HPF), filtro adaptativo atualizados a partir do método dos mínimos quadrados (LMS) e um terceiro método de filtragem chamado *empirical mode decomposition* (EMD). Na etapa de computação das características do evento, os autores utilizaram as mesmas métricas de Chelotti *et al.* (2016) com adição da análise da simetria do sinal. Como é evidente na Figura 8, os típicos sinais de bocado, mastigação e bocado completo, apresentam características distintas em relação à sua simetria.

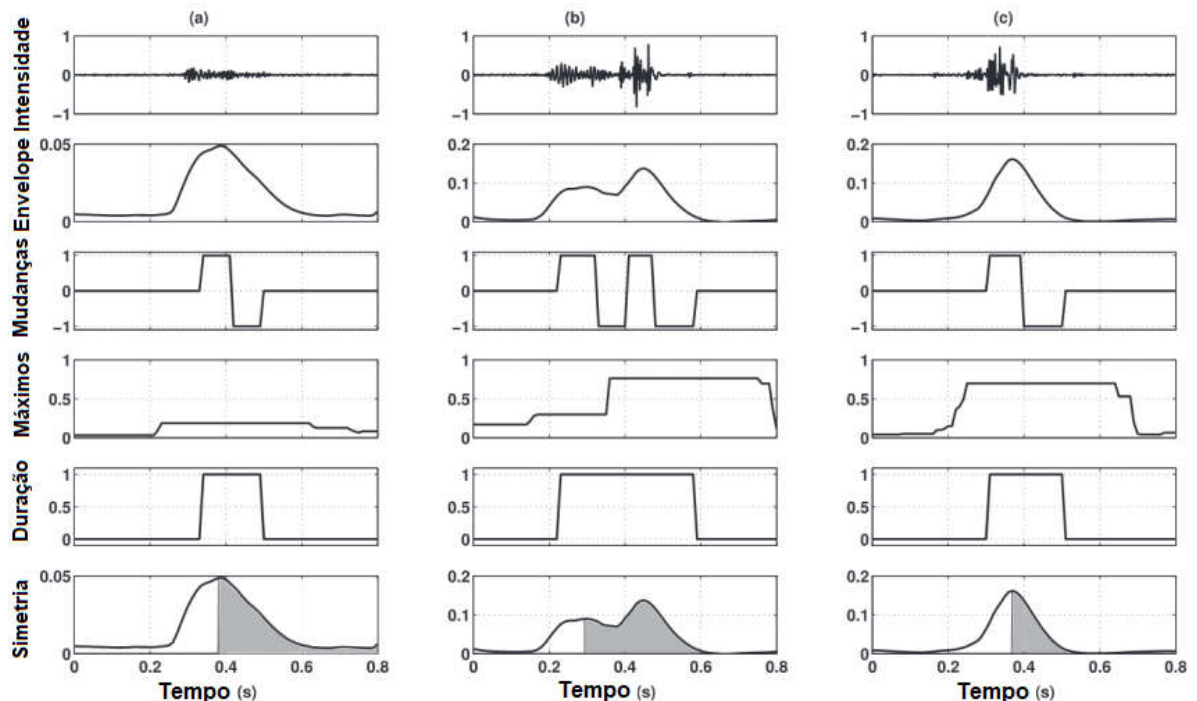


Figura 8. Ilustração de sinais típicos de: (a) mastigação; (b) bocado complexo e (c) bocado e suas características utilizadas como métricas do algoritmo de (CHELOTTI, *et al.*, 2018).

Fonte: Chelotti *et al.* (2018).

Como método de classificação, realizou-se um estudo de cinco métodos: árvore de decisão (DT), *perceptron* multicamadas (MLP), floresta aleatória, rede de funções de base radial, máquina de vetores de suporte (SVM) e máquina de aprendizado extremo (ELM). Os autores obtiveram taxas de reconhecimento de até 90% quando foi utilizado um modelo de SVM em junção com a etapa de filtragem a partir de LMS. O método de validação foi idêntico ao utilizado em Chelotti *et al.* (2016).

Chelotti *et al.* (2018) faz uma comparação entre os três métodos aqui expostos em função de seus consumos computacionais e taxas de reconhecimento, sendo possível identificar que CBIA (quando utilizando SVM + LMS) apresentou um acréscimo computacional marginal, em relação ao CBRTA, acréscimo este justificado pela precisão registrada (CHELOTTI, *et al.*, 2018). É importante salientar que a implementação de uma SVM envolve treinamento, o que intrinsecamente depende de uma disponibilidade abundante de dados e da otimização de parâmetros de treinamento, que pode ser um trabalho árduo.

No Capítulo seguinte, os três métodos mostrados acima são comparados e um é selecionado para ser utilizado no sistema embarcado, demonstrando o objetivo central desta pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos estudos expostos até aqui, esta sessão será destinada a detalhar os materiais utilizados no processo de desenvolvimento do sistema de aquisição para processamento e armazenamento de sinais sonoros aferidos de um ruminante. O processo experimental para ajuste de constantes do algoritmo de classificação é detalhado no fim do capítulo.

3.1 MATERIAIS

O sistema desenvolvido neste trabalho é composto de três etapas principais: 1 – Aquisição; 2- Processamento; e 3- Armazenamento além de dois subsistemas complementares: 1- Alimentação; e 2- Comando. Conforme exemplificado pela Figura 9.

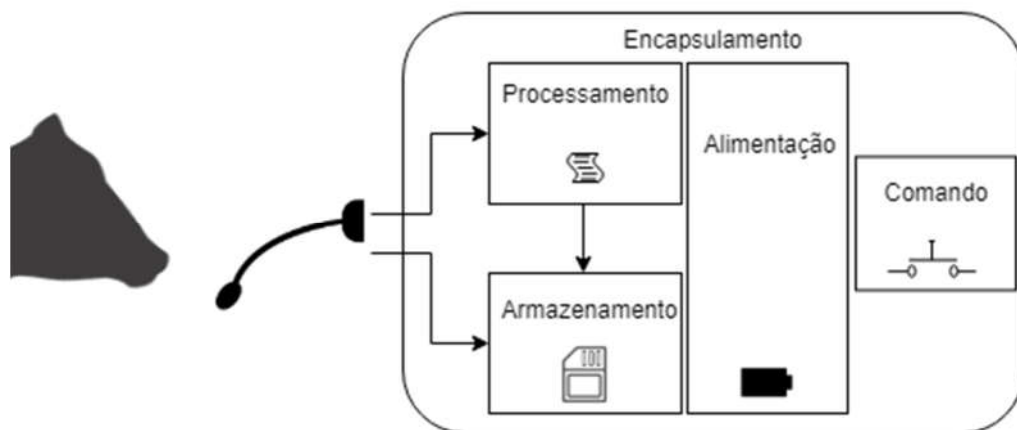


Figura 9. Diagrama de Blocos do Sistema Desenvolvido.

Fonte: Autoria Própria, utilizando o website <http://draw.io>.

O subsistema de aquisição é composto por um eletreto comum acoplado a uma estrutura flexível. As etapas de codificação, processamento e armazenamento dos dados aferidos são realizadas por meio da placa de desenvolvimento Teensy 3.2 em paralelo a uma placa de adaptação de áudio com entrada para cartões *microSD*,

compatível com a placa de desenvolvimento. A placa de adaptação de áudio contém uma unidade de codificação, baseada no circuito integrado SGTL5000.

Os dados aferidos e resultados processados são armazenados em um cartão *microSD* comercial de 32 *Gigabytes*. O sistema de comando é baseado em três chaves tácteis ordinárias e uma chave *ON/OFF*. A alimentação do sistema é provida a partir de uma placa de controle de carga com conversor *cc-cc* acoplado, nomeada KCF-7113 e a bateria ICR18650-22F. O sistema foi encapsulado em uma caixa de alumínio adaptada para os propósitos deste trabalho e as conexões elétricas foram efetuadas a partir de fios condutores comuns.

O processo experimental foi conduzido em conformidade com o protocolo Nº. 2015-002/CEUA-UTFPR da Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O animal estudado foi uma vaca leiteira da raça *Jersey*, com oito anos e seis meses de idade e 415 quilogramas de massa. O sistema foi acoplado na parte lateral da cabeça do animal por meio de uma estrutura de fixação (buçal) e foram aferidos dados em dois ambientes distintos. O primeiro ambiente é chamado aqui de ambiente contido, neste, o animal se alimentava de silagem de milho. No segundo ambiente, o animal pastava se alimentando a partir de *Tifton 85*¹.

Os critérios de escolha dos dispositivos, a metodologia do subsistema de classificação e mais detalhes do procedimento experimental são dados no decorrer deste capítulo.

¹ Espécie de forragem comumente utilizada em sistemas de pastejo para alimentação de gado.

3.2 METODOLOGIA DE PROJETO

O sistema desenvolvido aqui foi projetado a partir da metodologia *top-bottom*, onde os requisitos do projeto são definidos e, em seguida, são selecionados componentes e estratégias para alcançá-los. Após a análise da literatura ((MILONE, *et al.*, 2012) (DENIZ, *et al.*, 2017)), os seguintes requisitos foram identificados:

- Sistema computacional capaz de realizar aquisição, armazenamento e processamento de sons acústicos em tempo real, com frequência de amostragem de 44,1 kHz e precisão de 16 bits, seguindo orientação de Chelotti *et al.* (2016);
- Robustez para suportar o movimento do animal sem que os sons referentes ao movimento sejam captados (microfone estável);
- Autonomia energética suficiente para realizar ensaios de longa duração;
- Baixa dimensão, para que o sistema possa ser acoplado de forma a causar pouco desconforto ao animal.

A capacidade do sistema computacional, assim como dos demais sistemas do conjunto, é dependente do algoritmo de classificação e, por isso, as opções disponíveis na bibliografia foram analisadas à priori com base no estudo dos trabalhos e implementação das metodologias em *desktop*. O sistema de alimentação foi então dimensionado em função do sistema computacional. Os dispositivos selecionados, e a integração do sistema são mostrados a seguir.

3.3 ALGORITMO E MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO

Os três métodos analisados no Capítulo 2 foram cogitados para implementação no sistema desenvolvido aqui. Neste trabalho, os critérios de decisão foram: custo computacional, taxa de reconhecimento e viabilidade de implementação.

O MOMM, proposto por Milone *et al.* (2012), mostrou evidências de baixa generalidade, pela diferença significativa entre os resultados obtidos para os diferentes tipos de forragem em que foi testado. Além disso, a necessidade de treinamento do modelo inviabiliza sua implementação quando não se tem acesso à grandes bancos de dados confiáveis. O CBIA, apesar de apresentar os melhores resultados entre as metodologias expostas, também sofre com a dificuldade de implementação derivada da dependência de treinamento do método proposto.

O CBRTA, proposto em Chelotti *et al.* (2016), apresenta uma taxa de reconhecimento competitiva em relação aos demais métodos e baixo consumo computacional, segundo análise dos autores. Além disso, o método utiliza um conjunto de regras heurísticamente definidas, o que reduz a necessidade de calibração, apesar de ainda existir, uma vez que os valores de algumas constantes utilizadas pelo modelo devem ser definidos a partir da análise do sinal gravado, já que existem diversas condições que podem modificar as características de uma faixa de áudio (*eg.* ruídos, distância entre o animal e o microfone, características do sistema de aquisição). Devido a boa relação entre precisão e viabilidade de implementação, o CBRTA foi escolhido como algoritmo de classificação para o sistema desenvolvido nesse trabalho.

Inicialmente, o algoritmo foi implementado no *software* de cálculo numérico Matlab®, tanto para estudar a viabilidade de uma possível implementação em sistema de baixa capacidade computacional, quanto para entender melhor suas características. A Figura 10 é um gráfico que evidencia os limiares de detecção de evento do CBRTA e sinal após seu envelopamento, ambos já processados.

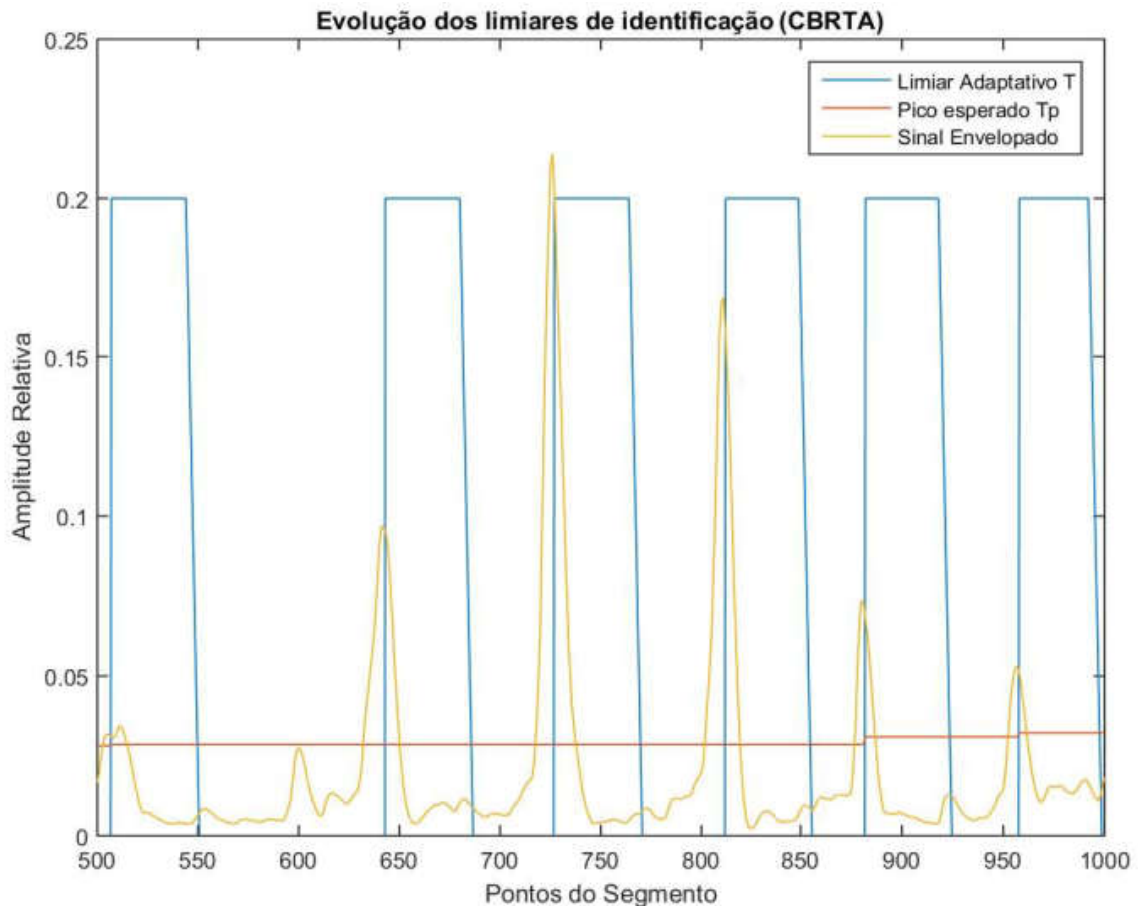


Figura 10. Trecho do CBRTA após o processamento de uma faixa de áudio, evidenciando os limiares de identificação de eventos e o sinal envelopado.

Fonte: Autoria Própria, utilizando o *software* Matlab®.

O sinal utilizado para testar o algoritmo foi retirado de uma versão de demonstração do trabalho de Vanrell *et al.* (2018). Como é possível identificar pela Figura 10, o limiar adaptativo, após detectar a ocorrência de um possível evento, fica estável por um tempo em seu valor máximo para que o possível evento seja computado e classificado, e então decai a cada passo do algoritmo, baseando-se no fato que à cada passo do algoritmo a chance de um novo evento acontecer aumenta. Quando o algoritmo detecta uma mudança de orientação no sinal envelopado e este é, ao mesmo tempo, maior que o pico esperado e o limiar adaptativo, um possível evento é detectado e o processo se repete.

O sinal de envelope foi processado a partir de um filtro passa baixas projetado pela função *butter()* do Matlab® com frequência de corte de 5,5 Hz e ordem dois, conforme sugestão de Chelotti *et al.* (2016). A Figura 11, mostra um trecho de um sinal de áudio original, gravado com frequência de amostragem de 44,1 kHz e 16

bits de precisão e, em seguida, o mesmo sinal após o processo de retificação e filtragem.

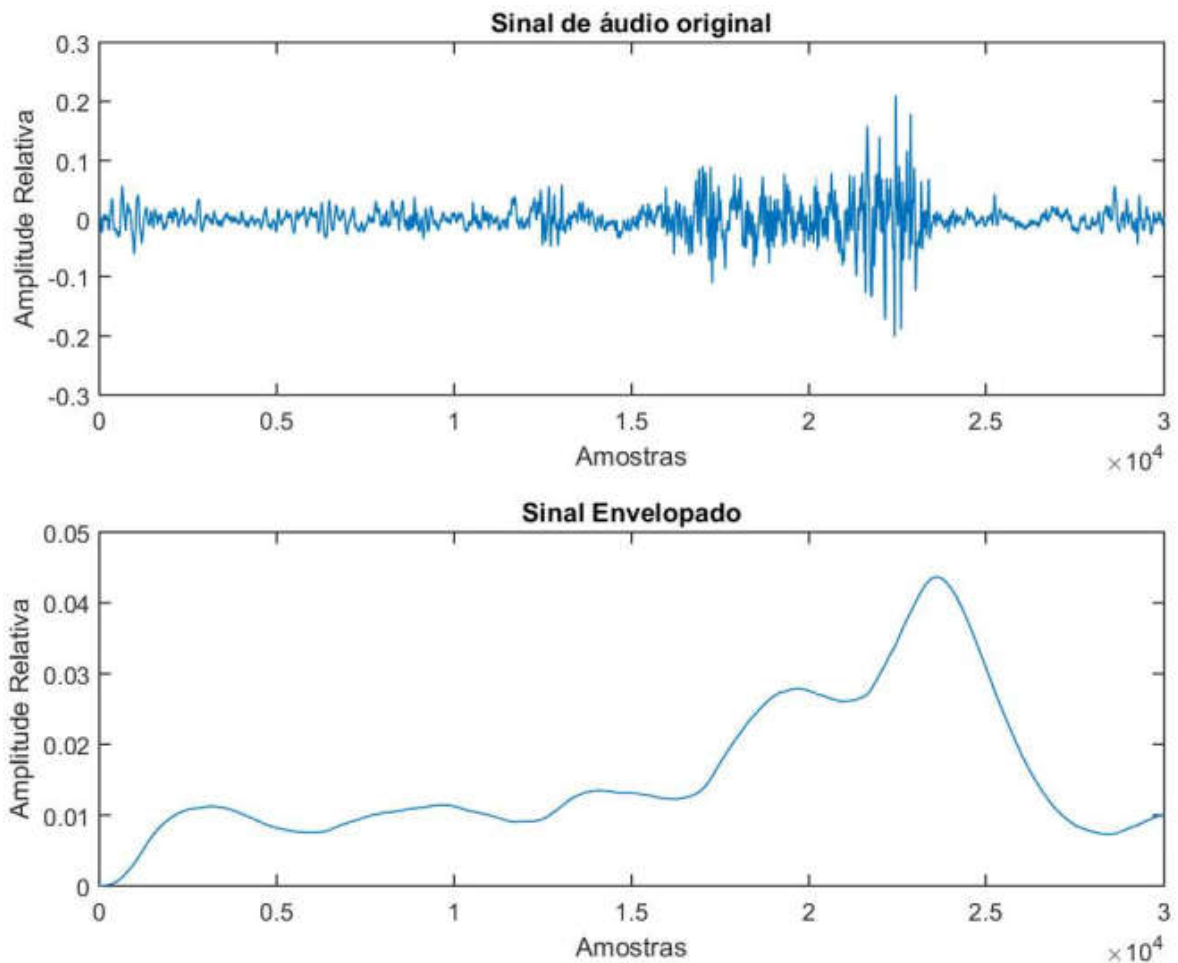


Figura 11. Exemplo de um trecho de áudio antes e depois do processo de retificação e envelopamento proposto por Chelotti *et al.* (2016).

Fonte: Autoria Própria, utilizando o software Matlab®.

Quando um evento é identificado e suas características são computadas em uma janela de tempo configurável, o algoritmo classifica-o em função das variáveis do próprio algoritmo em combinação com um conjunto de regras heurísticamente definidas por Chelotti *et al.* (2016), essas regras estão contidas no Quadro 2.

Evento	Regra
Bocado	$NC \leq 2 \ \& \ EA \geq FA \cdot TP \ \& \ ED < 0.3 \text{ segundos}$
Bocado Complexo	$NC > 2 \ \& \ EA > NT \ \& \ ED > 0.3 \text{ segundos}$
Mastigação	$NC \leq 2 \ \& \ EA > NT \ \& \ EA < FA \cdot TP \ \& \ ED < 0.3 \text{ segundos}$

Quadro 2: Regras heurísticas de classificação de sinais ingestivos de ruminantes propostas por Chelotti et al. (2016).

Fonte: Adaptado de Chelotti (2016).

NC, EA, e ED são as propriedades avaliadas no possível evento para classificação deste. Ambas essas métricas, são mostradas na Figura 8. NC refere-se à quantidade de mudanças na orientação do sinal, EA refere-se ao valor máximo do sinal original em uma janela de tempo definida e ED é o tempo em que a amplitude do sinal envelopado foi maior que o ruído do sistema, dentro de uma janela de tempo definida. NT é o ruído detectado no sistema, na prática, ele é usado como limiar inferior entre os trechos que devem ser considerados parte do evento, e os que não devem. FA é o fator de classificação, que depende das características do sistema de aquisição. Mais detalhes sobre o processo de extração destas propriedades são dados no Anexo A. Quando o evento identificado não cumpre nenhuma das regras mostradas no Quadro 2, ele é classificado como ruído.

Após a implementação do CBRTA no *software* Matlab®, um algoritmo para microcontroladores foi desenvolvido a partir da técnica de programação de laço infinito. O fluxograma mostrado na Figura 12, demonstra o funcionamento do algoritmo proposto.

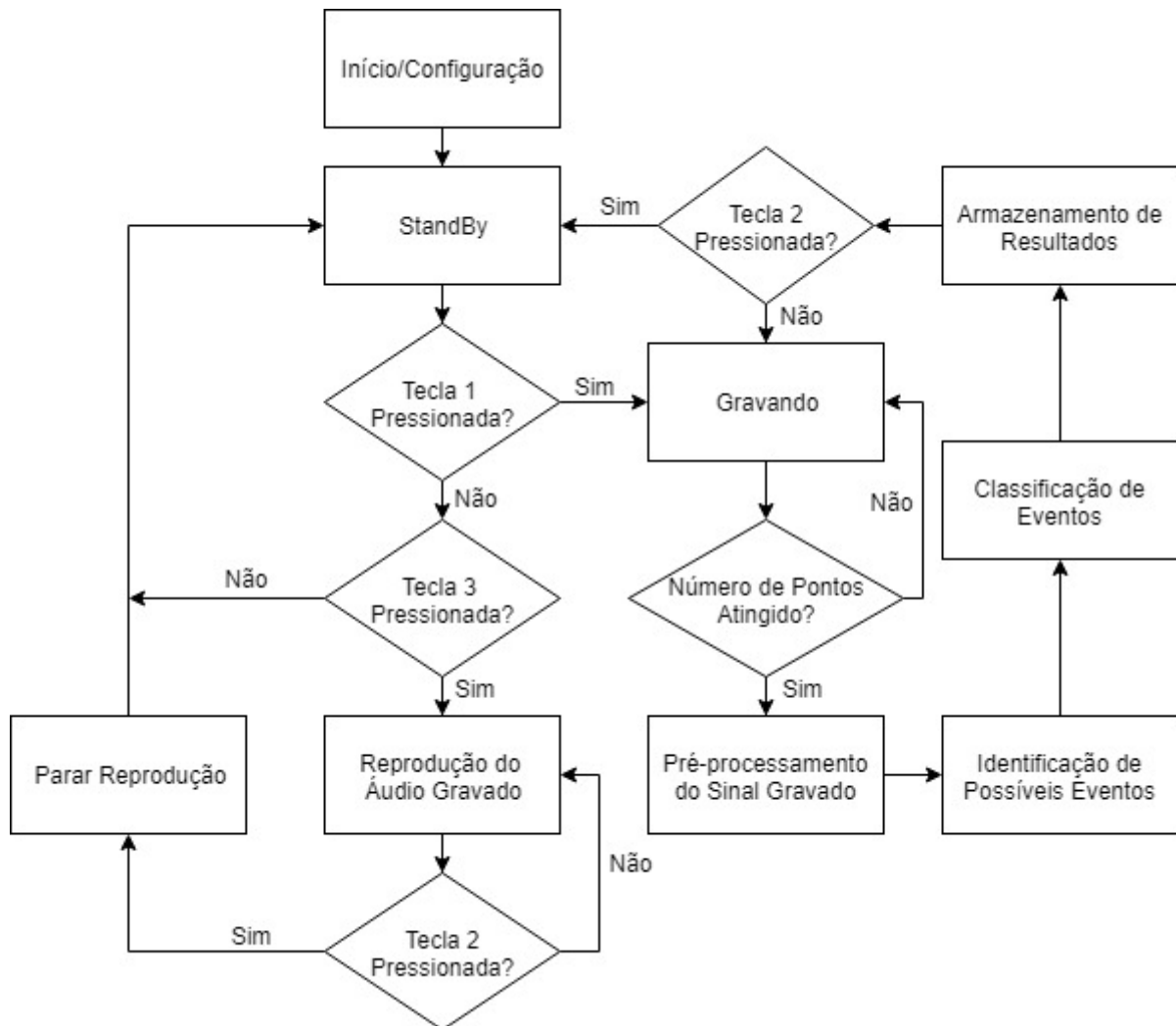


Figura 12. Diagrama do Algoritmo desenvolvido neste trabalho.

Fonte: Autoria Própria, utilizando o website <http://draw.io>.

O estado Gravação mostrado na Figura 12 é acionado quando o botão 1 é pressionado. Nesse estado, os dados são gravados no cartão de memória em formato .RAW e na memória dinâmica em uma variável *buffer* do sistema microcontrolado. Quando o valor de pontos salvos no *buffer* é igual a um número estipulado, esses dados são processados e os resultados são salvos no cartão de memória em um arquivo .TXT contendo todos os eventos detectados e o horário em que foram detectados. Em seguida o *buffer* é limpo para que o processo se repita.

O botão 2 é usado para levar o programa ao estado de *Standby*, quando o mesmo está no período de identificação e classificação de eventos. A classificação é finalizada antes que o processo de gravação seja interrompido. Além disso, o botão 2 também para a reprodução do áudio. O estado de Reprodução do Áudio

Gravado é importante para que o usuário possa identificar tanto o nível de ruído do ambiente quanto possíveis defeitos no *hardware* em tempo real.

Na sessão a seguir, o sistema microcontrolado utilizado é selecionado e são feitas algumas considerações a seu respeito.

3.4 SISTEMA COMPUTACIONAL

Os critérios utilizados para a escolha do sistema computacional mostrado na sessão anterior foram: capacidade computacional, dimensão e facilidade de implementação. O trabalho de Deniz *et al.* (2017) foi usado como referência, uma vez que nele, é implementado um sistema que também utiliza o CBRTA para classificação. A unidade de processamento utilizada pelos autores foi o MCF51JM128, portanto, microcontroladores de capacidade igual ou superior foram cogitados para a implementação do sistema proposto neste trabalho.

Dentre as placas de desenvolvimento em disposição para implementação do algoritmo descrito na Figura 12, a Teensy 3.2 foi selecionada. A placa de desenvolvimento Teensy 3.2 é um produto da empresa PJRC®, que foi desenvolvida com objetivo de proporcionar uma alta densidade computacional para processamento de áudio. No site da fabricante, é possível encontrar diversas bibliotecas que facilitaram o desenvolvimento do sistema apresentado aqui. O Quadro 3 é um resumo de algumas de suas especificações técnicas e a Figura 13 mostra seu layout frontal.

Processador	32 bits ARM Cortex-M4 72 MHz
Alimentação	3.3-5.5 V
Memória RAM	64 Kb
Memória Flash	256 KB
EPROM	2K
Número de Pinos	34 pinos digitais (tolerantes à 5V)
Dimensões	35 x 18mm

Quadro 3: Especificações técnicas da Teensy 3.2.

Fonte: Site do fabricante PJRC.



Figura 13. Layout frontal da Teensy 3.2

Fonte: Site do fabricante PJRC.

A biblioteca de áudio disponível no site do fabricante foi utilizada para implementar o sistema de gravação, uma vez que ela proporciona o uso otimizado do sistema. A função *queue()* foi especialmente importante, uma vez que a partir dela é possível armazenar até 150 ms de áudio, o que possibilita que os dados sejam processados em tempo real sem que haja perda de amostras no processo de gravação.

Além da Teensy 3.2, foi utilizado também uma placa de adaptação de áudio compatível com a essa placa de desenvolvimento, também fabricada pela empresa PJRC®. A placa conta com uma entrada de cartão SD, uma entrada para microfone, uma saída de áudio por meio de um *jack* 2P fêmea e um módulo de codificação de áudio baseado no circuito integrado SGT5000. A comunicação entre as placas pode ser feita a partir do protocolo de comunicação I2C ou utilizando as bibliotecas disponíveis no site do fabricante.

3.5 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de alimentação escolhido foi selecionado com base nas características de alimentação da Teensy 3.2, visando alcançar um alto nível autonomia energética para o sistema. Como banco de baterias, foi selecionado uma bateria ICR18650-22F com tensão nominal de 3.7 V e capacidade de armazenamento de 2200mAh. Para o condicionamento da tensão e corrente de alimentação a placa KCF-7113 foi eleita por conta da sua disponibilidade e o baixo preço. A KCF-7113 é

específica para baterias de Lítio com tensão nominal de 3.7 V e tem capacidade de fornecer até 1 A de corrente contínua em tensão de 5 V em sua saída, além de contar com um conjunto de LEDs que indicam o nível de carga, um sistema de proteção para correntes maiores que 1.4 A e um botão que permite ligar e desligar o fornecimento de energia. Dado o consumo energético do microcontrolador escolhido, operando em 70,0 MHz e a eficiência de conversão de aproximadamente 80% do conversor CC-CC da placa KCF-7113 (segundo as especificações do fabricante, disponíveis no *website* <http://alibaba.com>), estimasse que o sistema de alimentação arranjado tem capacidade de manter a operação contínua do sistema de aquisição e classificação por aproximadamente 15 horas, segundo testes realizados.

A Figura 14 mostra uma foto ampliada da placa KCF-7113, sendo possível observar os LEDs de indicação de nível de carga, a entrada e saída de alimentação, as conexões do arranjo de baterias e o circuito impresso de condicionamento.

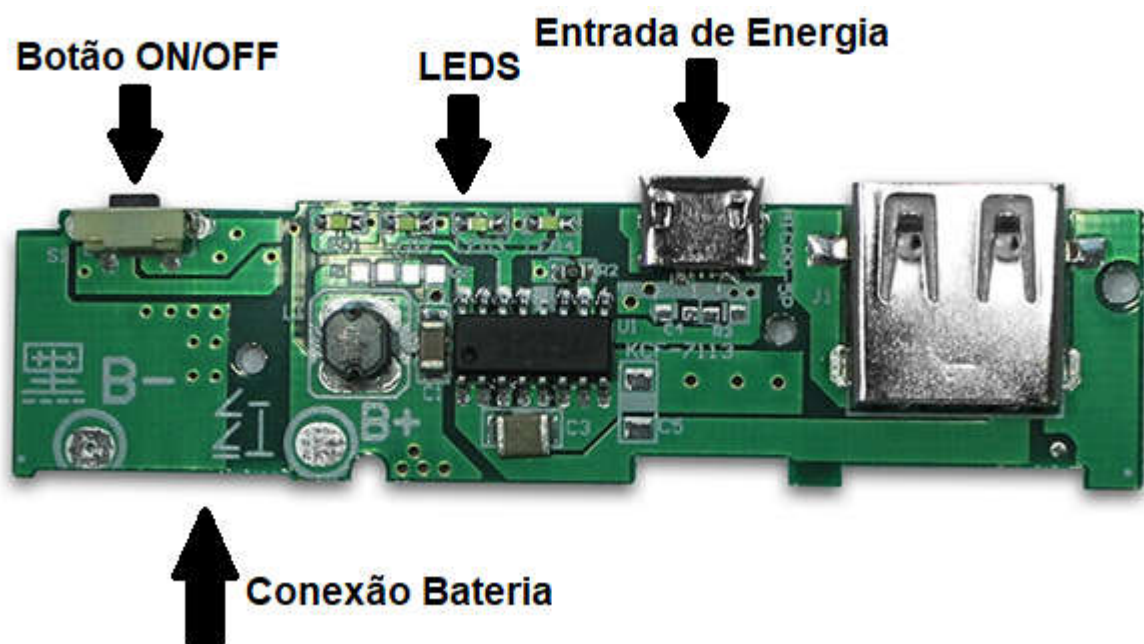


Figura 14. Layout frontal da KCF-7113.

Fonte: Site do fabricante SKTD Co Ltd.

3.6 ENCAPSULAMENTO

O sistema foi encapsulado em uma caixa de alumínio de dimensões 9,6 x 7,0 cm, sendo modificada de forma a fornecer suporte as entradas e saídas do KCF-7113 (eg. botão liga/desliga, entrada e saída de energia, LEDs indicadores de nível de carga, etc) e entradas do circuito de aquisição (microfone). Dentro desta caixa, foram inseridos todos os componentes dos subsistemas mencionados neste trabalho, nomeadamente: microcontrolador e placa de adaptação de áudio, banco de baterias e placa de condicionamento do sistema de alimentação. A Figura 15 mostra uma foto da caixa mencionada, antes da modificação, com algumas indicações de onde se planejou instalar alguns dos subsistemas.

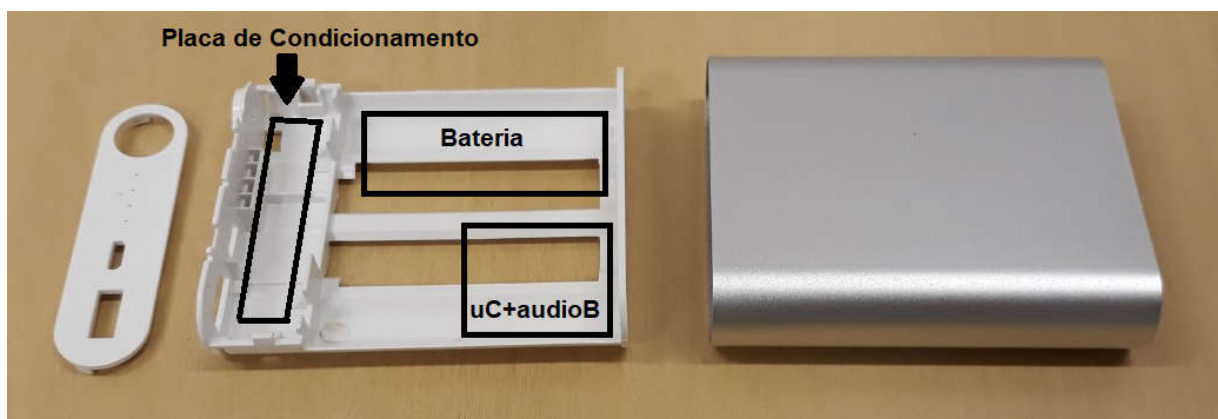


Figura 15. Caixa de alumínio usada para o encapsulamento do sistema.

Fonte: Autoria própria.

3.7 INTEGRAÇÃO

Uma vez que os dispositivos selecionados eram compatíveis entre si, a integração dos subsistemas de alimentação e computação foi feita apenas via conexão elétrica. Os botões de comando foram conectados no circuito de forma a provocar evento pela borda de descida do sinal desses quando pressionados, uma estrutura flexível foi utilizada para garantir a estabilidade do microfone (eletreto) e os componentes foram fixados utilizando cola quente e parafusos. A Figura 16 mostra o diagrama elétrico do sistema.

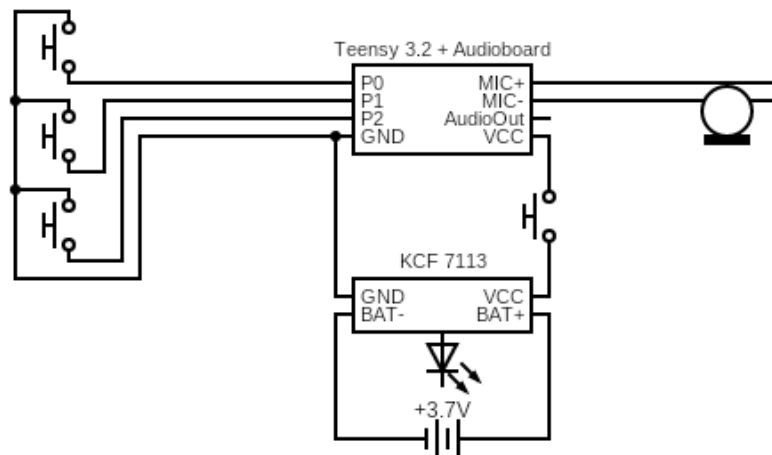


Figura 16. Diagrama elétrico do sistema desenvolvido neste trabalho.

Fonte: Autoria própria, utilizando o [website http://circuit-diagram.org/](http://circuit-diagram.org/).

3.8 METODOLOGIA DE EXPERIMENTAÇÃO

O dispositivo desenvolvido nesta pesquisa teve seus parâmetros ajustados a partir de ensaio em ambiente real. Um experimento foi realizado no polo regional de Pato Branco do Instituto Agrônomo do Paraná no dia 07/05/2019. A experimentação foi realizada com base no processo com protocolo N°. 2015-002/CEUA-UTFPR autorizada pela Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o procedimento foi acompanhado por um pesquisador zootecnista treinado de forma a interferir o mínimo possível com a condição natural de alimentação do ruminante objeto de estudo.

A experimentação teve três objetivos:

- Ajuste do sistema de classificação: O método de identificação e classificação selecionado para implementação no sistema desenvolvido foi o proposto por Chelotti *et al.* (2016). Conforme dito anteriormente, o método possui pouca necessidade de ajuste de constantes em comparação com os demais trabalhos da bibliografia, porém, como a amplitude relativa de sinais sonoros varia de acordo com o ambiente e o sistema de aquisição, algumas constantes devem ser ajustadas para o funcionamento correto do algoritmo.

- Teste do sistema de classificação em ambiente com alto nível de ruídos: Em Chelotti *et al.* (2016) e outros trabalhos da área, os testes de validação foram realizados em ambiente de pastejo livre, porém, sabendo que ruminantes também se alimentam enquanto contidos no celeiro, foi realizado um teste do algoritmo em dados aferidos nessa situação.
- Verificar a precisão do sistema: A partir da taxa de reconhecimento, mostrada na Equação 1 (C%), estimar a precisão do método de classificação obtida durante os ensaios nos dois ambientes.

Como dito anteriormente, o algoritmo de classificação apresentado por Chelotti *et al.* (2016) foi implementado em *desktop* no programa Matlab®. A análise dos dados obtidos pelo sistema de aquisição foi feita a partir dessa versão do programa. Durante o estágio de programação, foram feitos testes para verificar se as versões do algoritmo implementadas em *desktop* e sistema microcontrolado apresentariam respostas iguais quando recebessem a mesma entrada, obtendo resultado positivo.

O animal analisado foi escolhido por um especialista em função da sua adaptabilidade a instalação do sistema de medição. O ruminante estudado é uma vaca leiteira da raça *Jersey*, com oito anos e seis meses de idade, 415 quilogramas, em estado de *dry cow*, que nesse contexto significa o período em que uma vaca leiteira não está produzindo leite. O sistema desenvolvido aqui foi fixado na lateral da cabeça do animal a partir de um buçal desenvolvido especificamente para os propósitos deste trabalho. O buçal e a localização desejada para instalação do sistema de aquisição são mostrados na Figura 17.

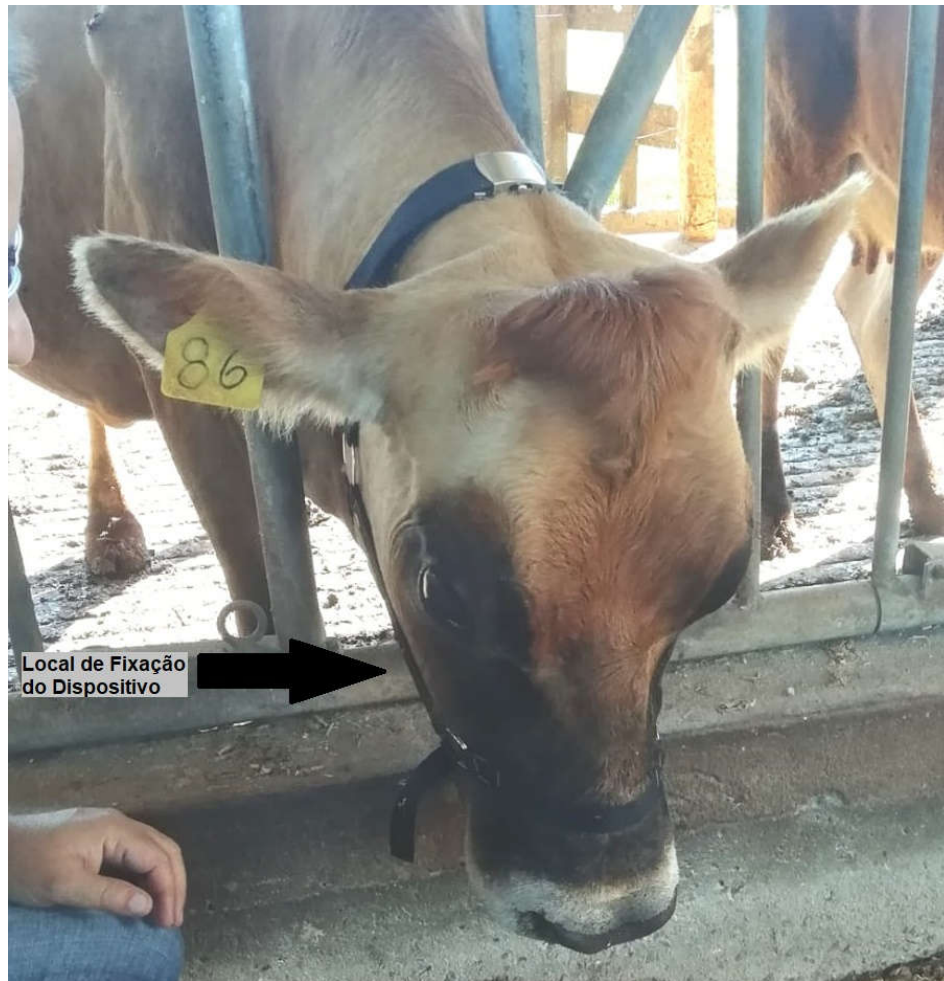


Figura 17. Foto identificando o local de instalação do dispositivo no animal contido em experimento de campo.

Fonte: Autoria própria.

Após a instalação do dispositivo, este foi utilizado para realizar gravações do animal se alimentando em dois ambientes distintos. O primeiro ambiente, ou ambiente 1, é chamado aqui de ambiente contido, uma vez que o animal fica preso à uma estrutura metálica, junto a outros animais. Esse espaço é caracterizado por alto nível de sons externos, provenientes principalmente de: passagem de trabalhadores, sons de outros animais, sons metálicos derivados do movimento do animal contra a estrutura de contenção e etc. O ambiente 1 é um ambiente típico de alimentação de animais de pastejo que foi pouco explorado por trabalhos recentes de avaliação nutricional pelo método acústico, justamente por se tratar de um ambiente com muito ruído externo. Neste trabalho, o animal estava se alimentando de silagem de milho, quando analisado na situação 1. A Figura 17 mostra o animal em estudo neste ambiente.

O segundo ambiente estudado foi o animal em processo de pastejo livre clássico, o sistema foi fixado com a mesma configuração indicada na Figura 17. O animal se alimentou a partir da pastagem *Tifton 85*, um híbrido entre *Tifton 68* e *Cynodon Dactylon*, de tamanho curto, aproximadamente 5cm do solo, em média. Para preservar o comportamento social do animal, outros animais foram soltos, visando simular o ambiente de natural de pastejo.

Além da aquisição acústica, nos dois ambientes foi feita uma aquisição audiovisual para validação a partir do método de avaliação visual dos resultados produzidos pelo algoritmo. A Figura 18 mostra o animal sendo gravado, tanto pelo método visual a partir de uma câmera de qualidade HD, quanto pelo método acústico a partir do sistema implementado aqui, enquanto contido, no processo de alimentação.



Figura 18. Foto do sistema de gravação de vídeo.

Fonte: Autoria própria.

Durante o experimento em pastejo livre, o procedimento foi similar, porém a filmagem foi realizada a partir da câmera de um celular comercial devido a necessidade de mobilidade. A filmagem foi feita respeitando a zona de fuga do animal, que nesse contexto representa a região nas proximidades do ruminante em que o mesmo se sente incomodado pela presença do observador, de forma a evitar interferência com o seu procedimento de pastejo natural.

Após o período de aquisição, os dados foram analisados a partir da verificação paralela entre o arquivo de áudio e o vídeo recordados durante a experimentação objetivando detectar a ocorrência dos eventos do processo ingestivo para comparação com os resultados obtidos pelo algoritmo, e assim, realizar a regulação do mesmo.

O ajuste do algoritmo foi feito a partir da modificação das seguintes constantes do algoritmo apresentado por Chelotti *et al.* (2016): Frequência de corte do filtro passa-baixas (FC), limiar adaptativo máximo (T), pico esperado (Tp), ruído típico (NT), taxa de decaimento do limiar adaptativo (TD), e fator de multiplicação de EA na etapa de classificação (FA). Essas constantes são visíveis no Quadro 2 e na Figura 10. O processo de regulação dessas constantes foi conduzido na seguinte ordem:

- Otimização dos parâmetros de identificação (Tp, NT, T, TD, FC);
- Otimização dos parâmetros de classificação (FA, NT);

4 RESULTADOS

Neste Capítulo, o modelo final do sistema de aquisição e classificação desenvolvido neste trabalho é apresentado. Além disso, os resultados e algumas considerações observadas são expostas a respeito do método acústico a partir da análise dos resultados obtidos nos dois ambientes de produção animal em que se obteve dados.

4.1 SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO

A partir de testes e das especificações dos componentes selecionados, o Quadro 4 traz algumas especificações do conjunto desenvolvido.

Especificação	Valor
Frequência de Operação	70,0 MHz
Frequência de Amostragem	44,1 kHz
Resolução do ADC	16 Bits
Armazenamento	SD - 32 Gigabytes
Capacidade de Armazenamento do Cartão SD	85 horas
Formato de Armazenamento de Áudio	.RAW – 16 Bits – LSB
Formato de Armazenamento de Resultados	.TXT
Autonomia Energética	15 horas
Tempo de Recarga (via USB/PC)	02 horas
Função	Realizar a aquisição de sinais acústicos provenientes de mamíferos ruminantes em seu processo de ingestão de alimentos e identificar os eventos ingestivos: bocado, bocado complexo e mastigação. Tanto a gravação quanto o resultado da análise são salvos no cartão SD.

Quadro 4: Especificações técnicas do sistema desenvolvido neste trabalho.

Fonte: Autoria Própria.

Uma foto do sistema desenvolvido é mostrada na Figura 19. Seguindo orientação de Milone *et al.* (2012), uma esponja foi disposta em torno do microfone objetivando filtrar sons não desejáveis tais como: respiração do animal e vento.



Figura 19. Foto da estrutura interna do sistema desenvolvido neste trabalho.

Fonte: Autoria própria.

Como citado anteriormente, dois ambientes de alimentação de ruminantes em sistemas de produção animal foram analisados. A Figura 20 mostra o animal estudado no ambiente 1, enquanto a Figura 21 mostra o animal no ambiente 2.

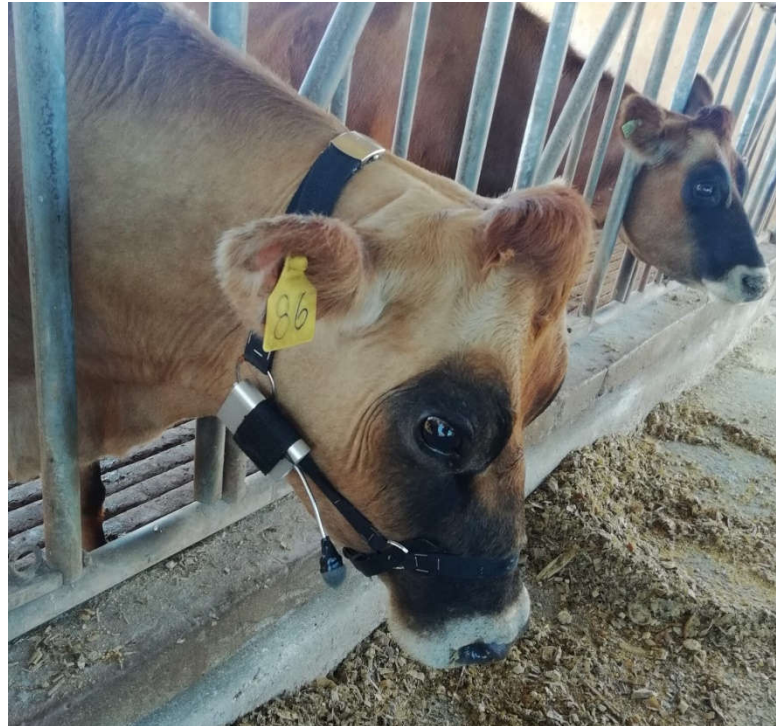


Figura 20. Foto do sistema fixado ao animal contido em experimento de campo.
Fonte: Autoria própria.

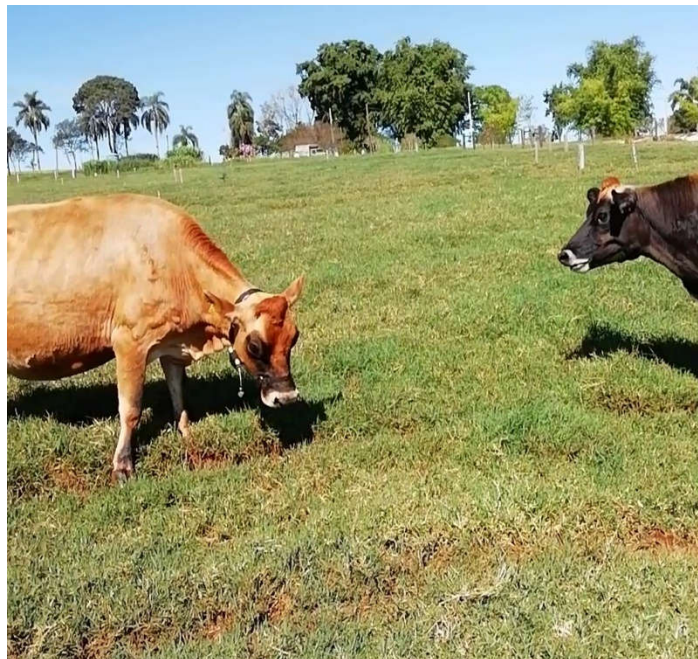


Figura 21. Foto do sistema fixado ao animal em pastejo livre.
Fonte: Autoria própria.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS

Ao todo foram gravados cerca de 38 minutos de áudio e vídeo do animal estudado se alimentando em dois ambientes, divididos em 13 minutos de alimentação contida e 25 minutos de alimentação em pastejo livre. Os áudios gravados foram divididos em faixa de regulação e faixa de teste. A sessão a seguir será destinada a expor os resultados da experimentação descrita na sessão anterior.

Os sinais acústicos foram rotulados com base na bibliografia, nos sons gravados e na confirmação via avaliação visual utilizando a ferramenta de rótulos do *software* Audacity 2.3.2. A Figura 22 mostra visualmente este processo. Após esta etapa, os parâmetros do algoritmo foram ajustados de forma a se obter bons resultados para a faixa de regulação. Em seguida, o algoritmo já regulado foi utilizado para processar a faixa de testes.

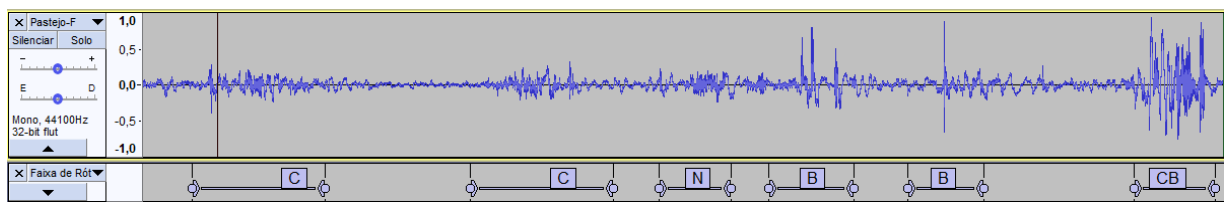


Figura 22. Processo de rotulação dos sinais ingestivos do animal 86, em que C, N, B e CB, referem-se à Mastigação, Ruído (ou sinal não-ingestivo), Bocado e Bocado Complexo, respectivamente.

Fonte: Autoria própria, utilizando o *software* Audacity 2.3.2.

Ao realizar a análise e regulação do algoritmo a partir dos dados obtidos no ensaio do ambiente 1, observou-se uma baixa taxa de identificação e classificação, o que resultou em uma taxa de reconhecimento (C%) de 14.26% para o melhor conjunto de valores encontrados, utilizando uma faixa de regulação de 3 minutos e uma faixa de testes de 6 minutos. Quando se optou por diminuir os valores de T_p e T (que resulta na identificação de mais eventos), o algoritmo não conseguiu identificar claramente os eventos, dado que não existe uma divisão clara entre estes. Para valores altos de T_p e T , o algoritmo identificou apenas os eventos de maior intensidade relativa, que eram, em sua completude, ruídos. Algumas estratégias foram adotadas para aumentar a taxa de reconhecimento, como exemplo pode-se citar a filtragem do sinal em diversas frequências de corte (entre 800 Hz e 5 kHz), porém não houve melhora significativa nos resultados.

A Figura 23, mostra uma comparação entre a ondas sonoras captadas pelo sistema de aquisição no ambiente de alimentação com animal contido e no ambiente de pastejo livre, respectivamente.

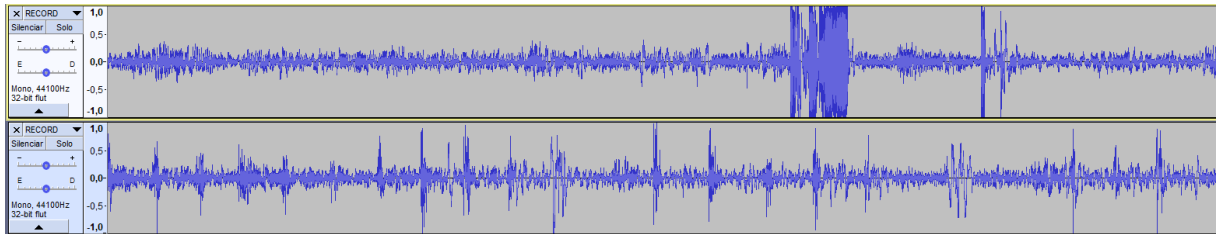


Figura 23. Ondas sonoras aferidas nos dois ambientes estudados neste trabalho, a primeira seqüência refere aos sinais obtidos no ambiente contido e a segunda refere ao ambiente de pastejo livre.

Fonte: Autoria própria, utilizando o *software* Audacity 2.3.2.

O algoritmo proposto por Chelotti *et al.* (2016) é baseado na detecção de picos. Enquanto a onda sonora aferida com o animal em pastejo livre apresenta picos mais acentuados quando há ocorrência de eventos, os sinais ingestivos observados quando o animal estudado se alimentava em ambiente contido apresentam intensidade relativa baixa, o que prejudica criticamente o funcionamento do algoritmo. Essa baixa intensidade pode ser atribuída ao alimento ingerido pelo animal nesta etapa do experimento. A Figura 24 mostra um trecho do áudio extraído do animal 86 se alimentando em ambiente contido depois de ser processado pelo algoritmo de identificação e classificação estudado neste trabalho. É possível observar que os eventos (picos), não são bem delimitados e as amplitudes são consideravelmente menores, o que prejudica a viabilidade da metodologia proposta por Chelotti *et al.* (2016).

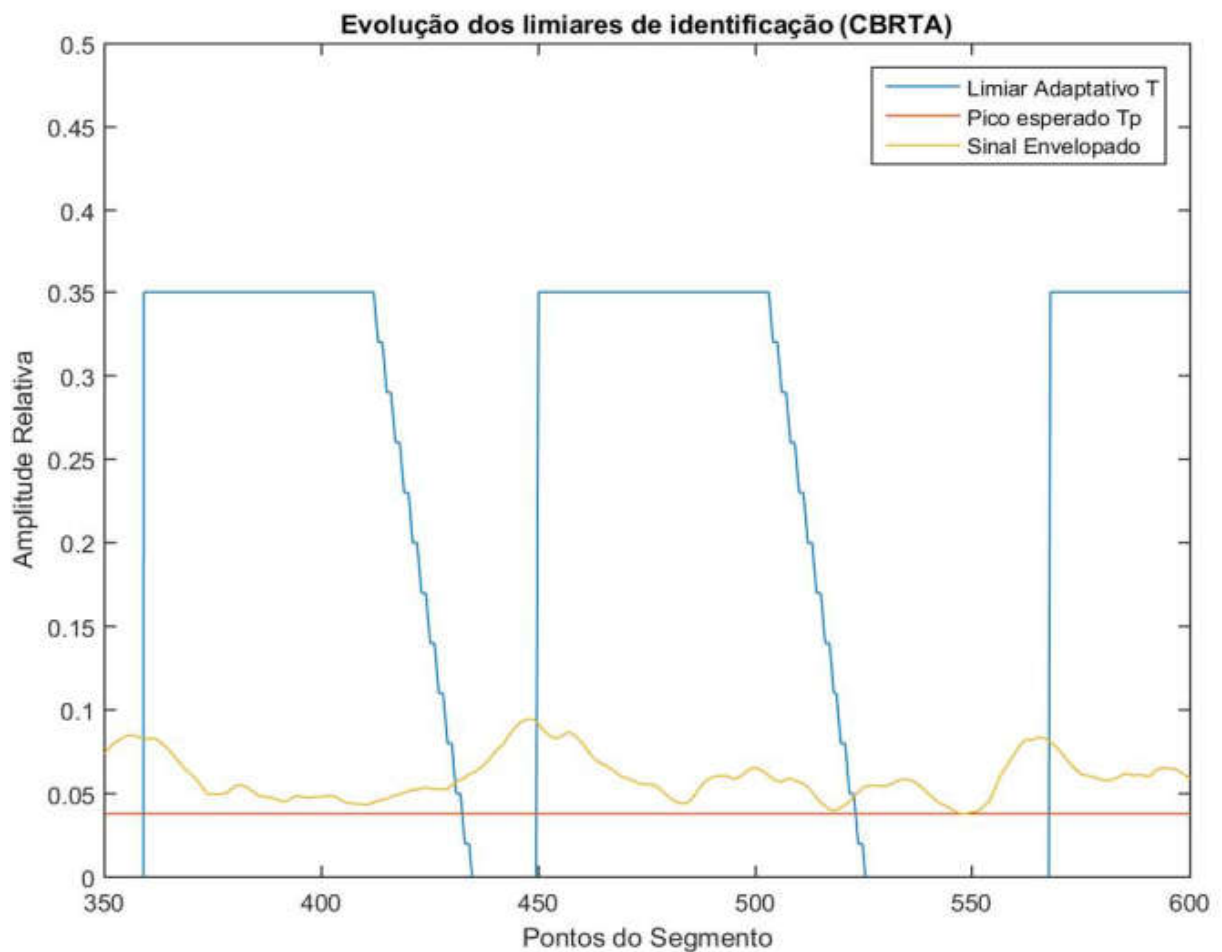


Figura 24. Comportamento do sinal envelopado e dos limiares adaptativos para os dados aferidos no ambiente 1.

Fonte: Autoria própria, utilizando o *software* Matlab®.

Para uma faixa de regulação de 4 minutos e uma faixa de teste de 10 minutos, o algoritmo obteve 72,45% de taxa de reconhecimento (C%) para o melhor conjunto de constantes encontrado para os dados aferidos no experimento realizado no ambiente 2, utilizando a como base a Equação 1. As constantes utilizadas estão contidas no Quadro 5.

Constante	Valor
T_p	0.3
T	0.35
FC	3.5 Hz
NT	0.07
FA	4.3

Quadro 5: Conjunto de constantes selecionadas.

Fonte: Autoria Própria.

O quadro 6 mostra a distribuição entre as constantes da Equação 1 e evidencia características do modelo de classificação proposto em Chelotti *et al* (2016).

Erros de Identificação (I)	19
Erros de Classificação (S)	84
Total de Eventos (T)	374

Quadro 6: Resultados dos eventos analisados no ambiente de pastejo livre.

Fonte: Autoria Própria.

De forma geral, a maior ocorrência de erros foi detectada para os períodos em que o animal não estava se alimentando. Embora o algoritmo apresente estratégias que visam discernir se o pico é um evento válido ou um sinal não-ingestivo, quando o animal passa muito tempo sem se alimentar, os limiares de identificação diminuem de forma que picos de pouca intensidade são classificados como eventos válidos erroneamente na etapa de classificação. Outro erro comum ocorre quando o mesmo evento é classificado múltiplas vezes em sequência devido a existência de mais de um pico por evento (mais acentuado em eventos de bocado complexo, uma vez que são caracterizados por possuírem mais de um pico por evento).

Enquanto o método proposto por Chelotti *et al.* (2016) apresentou uma boa performance na detecção de eventos em pastejo livre, a taxa de reconhecimento é baixa devido à baixa exatidão na classificação dos eventos.

Outra informação extraída da análise dos dados foi sobre o posicionamento do microfone no animal. Enquanto alguns trabalhos da bibliografia (Chelotti *et al.* (2018), Milone *et al.* (2014) e Deniz *et al.* (2017)), optaram pela fixação do microfone na parte superior da cabeça do animal, neste trabalho, como mostrado na Figura 19, o estudo foi realizado com o microfone instalado na parte lateral da cabeça do animal. Nesta configuração, a intensidade relativa dos eventos de bocado e bocado complexo são maiores que os mostrados na literatura, porém, os sons emitidos pelo animal quando este está se locomovendo também são maiores, o que dificulta a identificação de eventos de mastigação, que possuem intensidade relativa menor. Esta pode ser uma das causas de a taxa de reconhecimento encontrada ser levemente menor do que a encontrada por Chelotti *et al.* (2016) (C%=84%) e Deniz *et al.* (2017) (C%=77%), em que o mesmo método de classificação foi utilizado.

A Figura 25, é colocada aqui como exemplo da forma de onda do sinal envolpado e os limiares adaptativos já processados em um dos trechos analisados do áudio gravado no ambiente de pastejo livre.

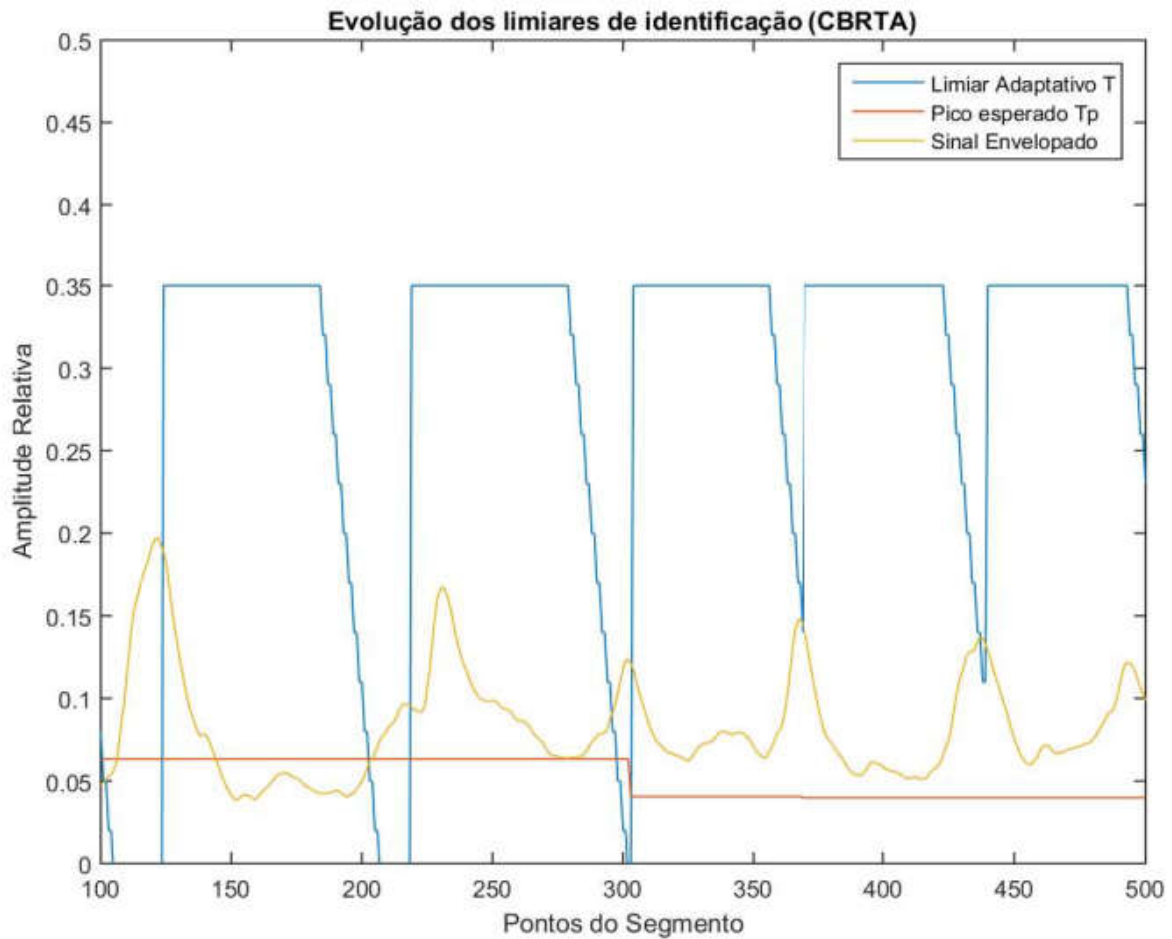


Figura 25. Comportamento do sinal envolpado e dos limiares adaptativos para os dados aferidos no ambiente 2.

Fonte: Autoria própria, utilizando o software Matlab ®.

5 CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

Nesta sessão, serão dadas as considerações finais do trabalho, uma análise dos resultados e objetivos alcançados é apresentada e algumas reflexões a respeito do monitoramento acústico de ruminantes são expostas. Ao fim algumas sugestões para trabalhos futuros na área são levantadas.

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de aquisição acústica para identificação e classificação de eventos ingestivos de ruminantes baseando-se no estado da arte deste estudo. O sistema desenvolvido obteve uma performance baixa quando o animal analisado se encontrava em ambiente contido, conforme mostrado no Capítulo 4, isso se deu devido à baixa amplitude relativa dos sinais de som emitidos pelo animal ao se alimentar de silagem de milho em comparação com os demais sons externos ao animal observados neste ambiente, como mostrado pela Figura 23. Observou-se que a maior parte da intensidade sonora aferida pelo animal nos eventos de bocado e bocado complexo aconteceu em derivação do processo de *arranquio*, período onde o animal utiliza sua boca para extrair o alimento do solo no processo de pastagem, como este ato não ocorre em ambiente de confinamento, o algoritmo proposto por Chelotti *et al* (2016) é prejudicado criticamente. Quando o sistema foi testado no ambiente de pastejo tradicional, os resultados obtidos foram próximos ao estado da arte, conforme mostrado no Capítulo 4. O Quadro 6 evidencia que o método de identificação e classificação utilizado (CBRTA), apesar de identificar os eventos com precisão de 94,91% tem sua qualidade prejudicada em função dos erros de classificação.

Mesmo que o sistema não tenha sido testado com os seus parâmetros ajustados, entende-se que os objetivos do trabalho foram alcançados, dado a semelhança entre os algoritmos implementados em *desktop* e no sistema microcontrolado. Além disso, da forma em que foi arquitetado, o algoritmo de classificação é facilmente substituível e, por isso, o mesmo sistema implementado

aqui pode ser modificado para validar outros modelos de identificação e classificação de sinais ingestivos baseado no método acústico.

A pesquisa contribuiu ainda com a aquisição de um banco de dados composto de aproximadamente 38 minutos de gravação visual e auditiva de um animal se alimentando. Esses dados podem ser utilizados em trabalhos futuros que visem implementar ou desenvolver técnicas mais sofisticadas de classificação de sinais acústicos referentes a nutrição de ruminantes.

5.2 DISCUSSÃO

O estudo realizado evidenciou algumas características da aplicação do método acústico em sistemas de telemetria local com baixo consumo computacional. Uma característica importante observada foi a baixa necessidade computacional encontrada nos algoritmos de classificação do estado da arte. Esta característica é corroborada pelo algoritmo implementado no sistema microcontrolado apresentado no Capítulo 3 que, mesmo contendo etapas de armazenamento, reprodução e classificação de áudio, ocupou apenas 55% da memória dinâmica e 15% da memória de programa.

Embora metodologias atuais tenham obtido bons resultados na classificação de sinais ingestivos de ruminantes em processo de alimentação (entre 80% e 90% de sucesso de reconhecimento), o maior desafio do método acústico continua sendo o tratamento de sons externos, isso é evidenciado na comparação realizada entre as faixas de áudio obtidas em ambientes diferentes. Laca *et al.* (2000) propõe uma análise da energia contida em cada faixa de frequência para realizar a classificação dos sinais ingestivos, porém, não foram encontradas metodologias automatizadas baseadas nesse princípio.

Em respeito ao posicionamento do microfone no animal, verificou-se que a metodologia de instalação do dispositivo de aquisição na parte lateral da cabeça do ruminante resulta em valores de amplitude relativa acentuados para eventos de bocado e bocado complexo. Em contraponto, os sons de passo do animal também apresentaram amplitude relativa alta devido à proximidade do microfone ao solo, o

que dificulta a classificação de eventos de mastigação pelo algoritmo de classificação, uma vez que esses eventos apresentam tipicamente amplitude relativa menor.

Por último, a diferença entre os sinais sonoros emitidos pelo mesmo animal ao ingerir alimentos diferentes foi evidente (como se pode notar a partir da comparação entre as Figuras 24 e 25), em contraponto, não foram encontrados trabalhos que estudem a diversidade de sons produzidos por diferentes tipos de alimento, comuns em sistemas de produção animal.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração o que foi exposto, para trabalhos futuros na área em estudo, se sugere:

- Estudo da diferença dos sinais sonoros produzidos por diferentes animais se alimentando de diferentes substâncias de forma a entender melhor a relação entre a substância ingerida e as ondas sonoras produzidas no processo;
- Estudo que relaciona a posição do microfone com a intensidade e forma das ondas sonoras referentes a sinais ingestivos;
- Estudo de técnicas sofisticadas de eliminação de ruídos para melhorar as taxas de reconhecimento de metodologias existentes de classificação de sinais sonoros;
- Utilização de técnicas meta-heurísticas para determinação dos parâmetros do método de Chelotti *et al.* (2016);
- Desenvolvimento de metodologia automatizada de classificação de sinais acústicos focada em sistemas de baixa capacidade computacional baseada na energia contida no evento em diferentes faixas de frequências, conforme proposto por Laca *et al.* (2000);
- Pesquisa que estude a viabilidade da implementação do método acústico em paralelo a outros métodos de identificação e classificação de eventos ingestivos de ruminantes.

REFERÊNCIAS

BERCHIELLI, T.; PIRES, A.; OLIVEIRA, S. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: Funep, v. 397-421, 2006.

CAMPOS, Daniel P. D. Avaliação do Comportamento Ingestivo de Curto Prazo em Caprinos Utilizando Eletromiografia de Superfície do Músculo Masseter. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR. PATO BRANCO: [s.n.], 2016. 163 p.

CARVALHO, Paulo C. D. F. et al. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, p. 109-122, 2009.

CARVALHO, Thiago B. D.; ZEN, Sérgio D. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. Revista iPecege, Piracicaba, v. 3, p. 85-99, Fevereiro 2017. ISSN 2359-5078.

CENSO Agropecuário 2006 - IBGE Área por atividade econômica (em mil ha) - Brasil - 2006. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/agropecuaria/atividade-economica-area.html>>. Acesso em: 20 Março 2019. Gráfico.

CHELOTTI, José O. et al. A real-time algorithm for acoustic monitoring of ingestive behavior of grazing cattle. Computers and Electronics in Agriculture, v. 127, p. 64-75, 2016.

CHELOTTI, José O. et al. A pattern approach for detecting and classifying jaw movements in grazing cattle. Computers and Eletronics in Agriculture, v. 145, p. 83-91, 2018.

DENIZ, Nestor N. et al. Embedded system for real-time monitoring of foraging behavior of grazing cattle using acoustic signals. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 138, p. 167-174, maio 2017.

EDWARDS, G. R. et al. Relationship between vegetation state and bite dimensions of sheep grazing contrasting plant species and its implications for intake rate and diet selection. *Grass and forage science*, v. 50, n. 4, p. 378-388, 1995.

FAVERDIN, P.; BAUMONT, R.; INGVARTSEN, K.L. Control and prediction of feed intake in ruminants. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE NUTRITION OF HERBIVORES,4.*, 1995, Paris. Paris: INRA, 1995.

FONSECA, Lidiane. Os Sons do Pastejo. Tese (Tese em Zootecnia) - UFRG. Porto Alegre: [s.n.], 2014. 98 p.

LACA, E. A.; WALLISDEVRIES, M. F. Acoustic measurement of intake and grazing behaviour of cattle. Department of Agronomy and Range Science - University of California. Davis: [s.n.], 2000. 8 p.

LACA, E.A; UNGAR, E.D.; DEMMENT, M.W. Mechanisms of handling time and intake rate of a large mammalian grazer. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 39, p. 3-19, 1994.

MCCOWEN, Brenda et al. Bioacoustic tools for enhancing animal management and productivity: effects on recorded calf vocalizations on milk production in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, Davis, v. 77, p. 13-20, 2001. ISSN 0168-1591.

MCINERNEY, John. *ANIMAL WELFARE, ECONOMICS AND POLICY*. University of Exeter. [S.I.]: [s.n.], 2004. 1-80 p.

MILONE, Diego H. et al. Automatic recognition of ingestive sounds of cattle based on hidden Markov models. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 87, p. 51–55, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E. A. Dados de rebanho bovino e bubalino no Brasil. Secretaria de Defesa Agropecuária. [S.l.]: [s.n.], 2017.

PENNING, P.D.; ROOK, A.J.; ORR, R.J. Patterns of ingestive behaviour of sheep continuously stocked on monocultures of ryegrass or white clover. *Applied Animal Behavior Science*, v. 31, p. 237-250, 1991.

PORTAL Brasil Exportação de carne bovina cresceu 11% em 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/economia-e-financas/2018/08/exportacao-de-carne-bovina-cresceu-11-em-2018>>. Acesso em: 20 Abril 2018. Reportagem.

SILVA, Cláudio J. A. D. et al. PREFERÊNCIA DE CAPRINOS EM PASTEJO: EFEITO DA ALTURA DOS DOSSÉIS DAS FORRAGEIRAS ARUANA E HEMÁRTRIA. *Ciência Animal Brasileira*, v. 10, n. 3, p. 698-710, 2009. ISSN 1809-6891.

TRINDADE, J. K. Comportamento e consumo de forragens de bovinos de corte em pastagem natural complexa. Universidade Federal do. [S.l.]: [s.n.], 2011.

TRINDADE, Júlio K. D. et al. Potencial de um método acústico em quantificar as atividades de bovinos em pastejo. *Pesq. agropec. bras*, Brasília, v. 46, n. 8, p. 965-968, 2011.

UNGAR, E.D. Ingestive behaviour. *The Ecology and Management of Grazing Systems*, Wallingford, p. 185-218, 1996.

VANRELL, Sebastián et al. A regularity-based algorithm for identifying grazing and rumination bouts from acoustic signals in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 151, n. 1, p. 392-402, jun. 2018.

VIELLARD, J. Recording Wildlife in Tropical Rainforest. *Bioacoustics*, Campinas, v. 4, p. 305-311, 1993. ISSN 0952-4622.

WILLIAMS, Susan H. et al. Mandibular corpus bone strains during mastication in goats (*Capra hircus*): A comparison of ingestive and rumination chewing. *Archives of Oral Biology*, Columbus, v. 56, n. 1, p. 960-971, 2011.

ZANINE, A.M et al. COMPORTAMENTO DA INGESTÃO EM BOVINOS (RUMINANTES) EM PASTAGEM DE CAPIM *Brachiaria decumbens* NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL. *Archives of Veterinary Science*, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 17-24, 2006. ISSN 1517-784X.

APÊNDICES A – EXTRAÇÃO DE PROPRIEDADES

A seguir será descrito o processo utilizado para realizar a extração de propriedades de classificação do algoritmo de identificação e classificação proposto por Chelotti *et al.* (2016). Será utilizado como exemplo a versão implementada no *software Matlab®*, porém a versão adaptada para microcontroladores apresenta características semelhantes, salvo adaptações necessárias referentes a diferenças estruturais nas linguagens de programação das duas plataformas.

A1. RAI0 DE BUSCA

Quando um possível evento é detectado, o algoritmo proposto por Chelotti *et al.* (2016) sugere que as propriedades sejam extraídas em um raio de busca em torno do ponto onde o possível evento foi detectado. Para respeitar os limites do envelope, quando o evento identificado se encontrar no início ou no fim deste, o algoritmo implementado restringe o raio aos limites do referido envelope por meio das variáveis temporárias *a* e *b*.

```
if (k-RAIO<1)
a=1;
b=k+RAIO;
elseif k+RAIO>size(ySEG,1)
a=k-RAIO;
b=size(ySEG,1);
else
a=k-RAIO;
b=k+RAIO;
end
```

Uma vez definido, o restante do algoritmo utiliza estes limites de busca para varrer o evento e extrair as propriedades de interesse.

A2. NÚMERO DE MUDANÇAS NA ORIENTAÇÃO DO SINAL (NC)

A mudança na orientação do sinal é utilizada pelo algoritmo proposto por Chelotti *et al* (2016) para identificar e quantificar picos do possível evento, ela foi calculada conforme mostrado abaixo.

```
yDIF=diff(ySEG);
if sign(yDIF(idx-1))*sign(yDIF(idx)) == -1 && ySEG(idx-1)>NT
    NC=NC+1;
end
```

A3. INTESIDADE MÁXIMA DO EVENTO (EA) E DURAÇÃO DO EVENTO (ED)

A intensidade máxima e a duração do evento são calculadas dentro dos limiares mostrados anteriormente. O tempo só é considerado valido se a amplitude do envelope for maior que o limar de ruído naquele ponto. A amplitude máxima é aferida não do sinal envelopado, mas do sinal original, conforme proposto por Chelotti *et al* (2016).

```
if ySEG(idx)>NT
    ED=ED+1;
end

if ySEGM(idx)>EA
    EA=ySEGM(idx);
end
```

A4. EXEMPLO

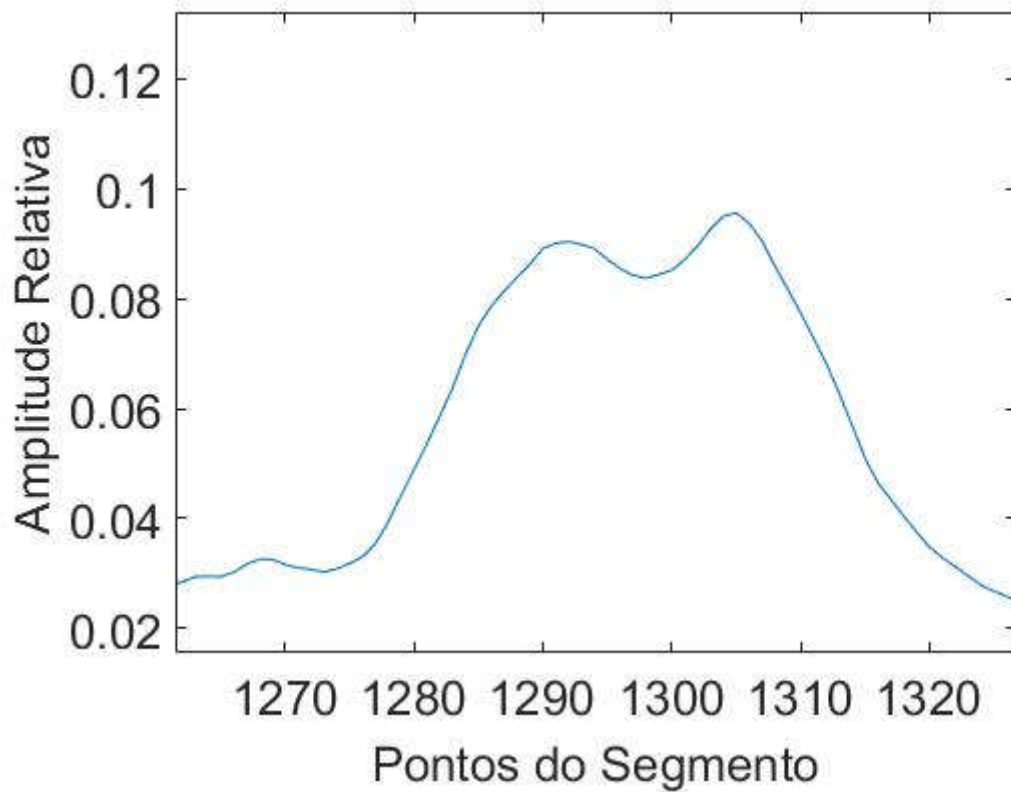


Figura A. Possível evento exemplo.

Fonte: Autoria própria, utilizando o *software* Matlab®.

Utilizando o que foi disposto até agora neste anexo, parâmetros de teste e o sinal mostrado na Figura A como exemplo, obteve-se: $NC=3$; $EA=0,199$ e $ED=31$. A partir destas propriedades o algoritmo classifica o sinal em etapa posterior.